

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№9-2 2023 (СЕНТЯБРЬ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

Редакция:

Главный редактор
А.В. Царегородцев
Выпускающий редактор
Ю.Б. Миндлин
Верстка
М.А. Комарова

Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016
В течение года можно произвести подписку
на журнал непосредственно в редакции.

Издатель:

Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

Адрес редакции и издателя:
109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10
Тел/факс: 8(495) 142-8681
E-mail: redaktor@nauteh.ru
<http://www.nauteh-journal.ru>

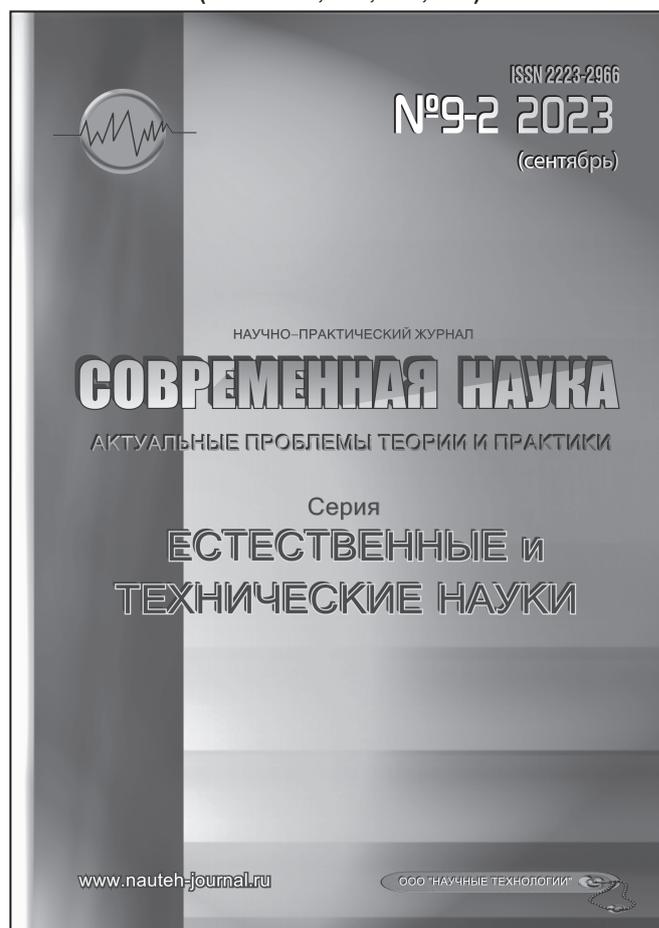
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



В НОМЕРЕ:

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ,
КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Авторы статей несут полную ответственность
за точность приведенных сведений, данных и дат.

При перепечатке ссылка на журнал
«Современная наука»:
Актуальные проблемы теории и практики» обязательна.

Журнал отпечатан в типографии
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296
Подписано в печать 25.09.2023 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



Редакционный совет

Атаев Алевдин Рашитханович — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

Безруких Марьям Моисеевна — д.б.н., профессор, Институт возрастной физиологии РАО

Бекетов Сергей Валериевич — д.б.н., ФГБНУ НИИ Пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева

Белых Владимир Иванович — Д.м.н., доцент, Алтайский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации

Грачев Николай Николаевич — доктор высшей степени в области технических наук (DoctorHabilitatus), профессор, Московский государственный институт электроники и математики НИУ ВШЭ (технический университет)

Гусева Анна Ивановна — д.т.н., профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Зубкова Валентина Михайловна — д.б.н., профессор, Российский государственный социальный университет

Каллаев Нажмудин Омаркадиевич — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

Квасов Андрей Иванович — д.т.н., профессор, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикабаева

Корнеев Андрей Матиславович — д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет

Корягина Наталья Александровна — д.м.н., доцент, Пермский государственный медицинский университет им. ак. Е.А.Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кравец Бронислава Борисовна — д.м.н., профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кулик Сергей Дмитриевич — д.т.н., доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Матвеев Всеволод Борисович — д.м.н., профессор, ФГБУ РОНЦ им. Н.Н. Блохина, член-корреспондент РАН

Миндлин Юрий Борисович — к.э.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

Надежкин Сергей Михайлович — д.б.н., профессор, Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

Овезов Алексей Мурадович — д.м.н., доцент, ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского

Олейникова Светлана Александровна — д.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет

Рахимов Ильгизар Ильясович — д.б.н., профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Ромашкова Оксана Николаевна — д.т.н., профессор, Московский городской педагогический университет

Симаков Юрий Георгиевич — д.б.н., профессор, Московский государственный университет им. К.Г. Разумовского (ПКУ)

Симоненков Алексей Павлович — д.м.н., профессор, независимый эксперт

Трапезов Олег Васильевич — д.б.н., в.н.с., ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»

Федорова Оксана Ивановна — д.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

Харитонов Михаил Анатольевич — д.м.н., профессор, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова

Царегородцев Анатолий Валерьевич — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет redaktor3@nauteh.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Ван Лейден Н.С., Патлай Н.И., Парк Сохи —

Разработка классификации митохондриальных мутагенов: анализ химической природы мутагенов и их функциональных свойств
Van Leiden N., Patlay N., Park Sohee — Development of a classification for mitochondrial mutagens: analysis of the chemical nature of mutagens and their functional properties.6

Гашимов Р.Т., Искендеров Т.М., Наджафов Д.А. —

Морфогенез соматических мышц у *ophisops elegans* menetries, 1832 (reptilia: sauria) в эмбриональном гистогенезе и его эволюционно приспособительное значение
Hashimov R., Iskenderov T., Najafov J. — Morphogenesis of somatic muscles in *ophisops elegans* menetries, 1832 (reptilia: sauria) in embryo hystogenesis and its evolutionary adaptive significance11

Кубрина Л.В. — Флуктуирующая асимметрия как показатель степени загрязнения техногенных территорий

Kubrina L. — Fluctuating asymmetry as an indicator of the degree of pollution of technogenic territories16

Куприянов А.Н., Шатилов Д.А., Куприянов О.А., Манаков Ю.А. —

Состояние индикаторного вида *hemerocallis minor* mill. при реконструкции растительного покрова на отвалах
Kupriyanov A., Shatilov D., Kupriyanov O., Manakov Yu. — The state of the indicator species *hemerocallis minor* mill. during the reconstruction of vegetation cover on dumps19

Ломсков М.А., Коновалов А.М., Макарова Е.А. —

Изучение некоторых особенностей непрямой коммуникации мелких лесных млекопитающих в условиях рекреационных нарушений лесных сообществ

Lomskov M., Konovalov A., Makarova E. — Investigation of some features of indirect communication of small forest mammals in conditions of recreational disturbances of forest communities23

Пожидаев И.В., Корнетова Е.Г., Иванова С.А. —

Влияние полиморфизма генов рецепторов нейротрансмиссии на развитие смешанного типа тардивной дискинезии у больных шизофренией
Pozhidaev I., Kornetova E., Ivanova S. — Influence of neurotransmission receptor gene polymorphism on the development of mixed type of tardive dyskinesia in patients with schizophrenia26

Похилюк Н.В., Горбачев А.Л., Киричук А.А. —

Особенности содержания химических элементов в питьевой воде г. Магадана и их влияние на здоровье населения
Pokhilyuk N., Gorbachev A., Kirichuk A. — Features of the content of chemical elements in drinking water of Magadan and their impact on public health.....31

Смирнова Е.А., Иванникова Р.Ф.,

Заболоцкая Т.В. — Криоконсервация как способ сохранения и поддержания биоразнообразия
Smirnova E., Ivannikova R., Zabolotskaya T. — Cryopreservation as a way to preserve and maintain biodiversity37

Уалиева Р.М., Каниболоцкая Ю.М., Листков В.Ю.,

Канушина Ю.А., Абрамова Е.А. — Влияние абиотических факторов на формирование энтомоценоза посевов яровой пшеницы (на примере Павлодарской области)
Ualiyeva R., Kanibolotskaya Yu., Listkov V., Kanushina Yu., Abramova E. — Impact of abiotic factors for entomocenosis spring wheat crops (using Pavlodar region as an example)40

Черткоева М.Г. — Влияние мутаций в новых штаммах SARS-CoV-2 на патогенность и распространение Covid-19

Chertkoeva M. — Impact of mutations in new SARS-CoV-2 strains on the pathogenicity and spread of Covid-19.....47

Информатика, вычислительная техника
и управление

- Алмунтафеки Асель Фарис Марзуг** — Модели формирования структуры предпочтений и решения задачи выбора оптимальных параметров транспортно-логистической системы перевозки готовой продукции
Almuntafeki Asel' Faris Marzug — Models of forming the structure of preferences and solving the issue of choosing optimal parameters of the transport and logistics system for the transportation of finished products52
- Верезубова Н.А., Петракова Н.В., Петраков М.А.** — Технологии искусственного интеллекта в процессах обработки информации
Verezubova N., Petrakova N., Petrakov M. — Artificial intelligence technologies in information processing processes58
- Волотовский К.Т., Дорофеев А.С., Баженов Р.И.** — Разработка программной подсистемы поддержки работы секретаря ГЭК вуза
Volotovskiy K., Dorofeev A., Bazhenov R. — Development of a program subsystem to support the work of the SEC'S secretary of a university63
- Думаев Р.И., Молодяков С.А.** — Сегментация органов грудной клетки с несколькими метками
Dumaev R., Molodyakov S. — Multi-label chest X-ray organ segmentation.....72
- Евсюков Д.Ю.** — Интеллектуальная информационная поддержка принятия решений по развитию кадрового потенциала инновационного предприятия
Evsyukov D. — The intelligent information support of decision-making on the development of human resources potential of an innovative enterprise76
- Елин В.М., Царегородцев А.В., Лавриненко М.М.** — Характеристика методик обеспечения информационной безопасности стран Евросоюза
Elin V., Tsaregorodtsev A., Lavrinenko M. — Characteristics of the methods of ensuring information security of the EU countries.83

- Касюк С.Т., Диденко Г.А., Степанова О.А.** — Диагностика пневмонии на рентгенологических снимках с использованием сверточной нейронной сети
Kasyuk S., Didenko G., Stepanova O. — Pneumonia detection in chest X-ray images using a convolutional neural network89
- Макаров Д.А., Царегородцев А.В.** — Классификация, категории и уровни сложности программных ошибок: от проектирования до эксплуатации
Makarov D., Tsaregorodtsev A. — Classification, categories, and levels of complexity of software errors: from design to operation98
- Мохмдхуссин Алаа Назин Мохмдхуссин** — Разработка принципов функционирования проблемно-ориентированной системы управления экологическим мониторингом эмиссий загрязняющих веществ при образовании производственных отходов
Mohmedhussen Alaa Nazeeh Mohmedhussen — Development of principles for the functioning of a problem-oriented system for managing environmental monitoring of pollutant emissions during the generation of industrial waste 107
- Сабуткевич А.М., Вихляев Д.А., Никифоров И.В.** — Распределенная модель вычислений Map Reduce для R/S анализа временных рядов большой размерности
Sabutkevich A., Vikhlyaev D., Nikiforov I. — Map Reduce for R/S analysis of high-dimensional time series 113
- Суворов А.П.** — Опыт использования пакета *ru-pde* для решения дифференциальных уравнений
Suvorov A. — Experience of using *ru-pde* package for solving differential equations 119
- Филиппович А.Ю.** — Исследования шрифтографических образов на основе ассоциативного эксперимента
Philippovich A. — Studies of fontographic images based on an associative experiment. 124
- Чавес Кирос Габриэла Гуадалупе** — Приложения машинного обучения в разработке программного обеспечения для предотвращения уязвимостей CSRF в веб-приложениях

Chavez Quiroz Gabriela Guadalupe — Applications of machine learning in software development to prevent CSRF vulnerabilities in web applications 127

Клиническая медицина

Азизова Д.А., Хаирутдинова А.Р., Хафизов Р.Г. — Использование ботулинического нейропротеина при комплексном лечении височно-нижнечелюстных расстройств
Azizova D., Khairutdinova A., Hafizov R. — The use of botulinum neuroprotein in the complex treatment of temporomandibular disorders 133

Борисова Е.П., Иванова Т.А. — Клиническая характеристика инфекционного эндокардита на примере пациентов с наличием факторов риска
Borisova E., Ivanova T. — Clinical characteristics of infectious endocarditis in the example of patients with risk factors 137

Калинина Е.А., Цакоева А.А., Бандовкина А.В., Кабисова А.Ч. — Оценка влияния лечения гипоксеном на выраженность воспаления и фиброза при хроническом пародонтите
Kalinina E., Tsakoeva A., Bandovkina A., Kabisova A. — Evaluation of the effect of hypoxene treatment on the severity of inflammation and fibrosis in chronic periodontitis 142

Комаров Р.Н., Ткачѳв М.И., Савина В.А., Башмаков Н.С. — Раннее ремоделирование миокарда левого желудочка после коррекции порока аортального клапана: сравнение неокуспидизации и каркасных протезов
Komarov R., Tkachev M., Savina V., Bashmakov N. — Early left ventricular myocardial remodeling after correction of aortic valve malformation: a comparison of neocuspidization and frame prostheses 146

Реутов А.С., Скворцова Е.Н., Ефремова А.В., Фролова К.Е., Коновалова Е.В. — Стоматология: ошибки и осложнения в эндодонтии
Reutov A., Skvortsova E., Efremova A., Frolova K., Konovalova E. — Dentistry: errors and complications in endodontics 155

Романов И.А., Петрова А.М. — Микроциркуляция тканей пародонта при коронавирусной инфекции у детей. Обзор литературы
Romanov I., Petrov A. — Microcirculation of periodontal tissues in children with coronavirus infection. Literature review 160

Якупова К.И., Якупова Р.А., Малихова А.Ф., Хафизова П.В., Султанова Э.И., Асфандиярова И.В. — Взаимосвязь между пародонтитом, пневмонией и COVID-19
Yakupova K., Yakupova R., Malikhova A., Khafizova P., Sultanova E., Asfandiyarova I. — The relationship between periodontitis, pneumonia and COVID-19 165

Наши авторы 172

РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ МУТАГЕНОВ: АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МУТАГЕНОВ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ

DEVELOPMENT OF A CLASSIFICATION FOR MITOCHONDRIAL MUTAGENS: ANALYSIS OF THE CHEMICAL NATURE OF MUTAGENS AND THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES

**N. Van Leiden
N. Patlay
Park Sohee**

Summary. Mitochondrial dysfunction may be associated with damage to mitochondrial DNA (mtDNA) by mutagens [1]. However, the mutational signatures of both individual mutagens and their groups have not been established; therefore, the issue of creating a classification of mtDNA mutagens according to the functional principle and the chemical nature of origin is topical. In this article, the mutagens used in the works of *Serena Nik-Zainal* [2, 3] were analyzed and a new classification system was proposed that takes into account physiological and structural features. Three main groups of mutagens were identified according to their functional effect on mtDNA: oxidative stress initiators, adductors, and alkylating agents. We hypothesize that many mitochondrial mutagens damage mtDNA indirectly through the generation of large amounts of reactive oxygen species (ROS). Adduct formers are mainly represented by polycyclic aromatic hydrocarbons, which irreversibly bind to mtDNA. Presumably, some mutagens are able to act as superoxide dismutase inhibitors, causing an abnormal increase in the number of mutations. Funding: This research was supported by funds provided through the Russian Federal Academic Leadership Program «Priority 2030» at the Immanuel Kant Baltic Federal University, project number 1166.

Keywords: mitochondria, mitochondrial DNA, mutagenesis, reactive oxygen species, oxidative stress.

Ван Лейден Никита Сергеевич

Аспирант, Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта, Калининград
leyden@email.cz

Патлай Наталия Игоревна

Аспирант, Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта, Калининград
nataliyapatlay@gmail.com

Парк Сохи

Магистрант, Пусанский национальный университет,
Янсан, Республика Корея
sohee5172@gmail.com

Аннотация. Нарушение работы митохондрий может быть связано с повреждением митохондриальной ДНК (мтДНК) мутагенами [1]. Однако мутационные подписи как отдельных мутагенов, так и их групп не установлены, поэтому актуален вопрос о создании классификации мутагенов мтДНК по функциональному принципу и по химической природе происхождения. В данной статье были проанализированы мутагены, используемые в работах *Serena Nik-Zainal* [2, 3], и была предложена новая система их классификации, учитывающая физиологические и структурные особенности. Были выделены 3 основные группы мутагенов по функциональному воздействию на мтДНК: инициаторы окислительного стресса, аддуктообразователи и алкилирующие агенты. Мы предполагаем, что многие митохондриальные мутагены повреждают мтДНК косвенно через генерацию большого количества активных форм кислорода (АФК). Аддуктообразователи в основном представлены полициклическими ароматическими углеводородами, которые необратимо связываются с мтДНК. Предположительно, некоторые мутагены способны выступать в качестве ингибиторов супероксиддисмутаз, вызывая аномальное увеличение числа мутаций.

Ключевые слова: митохондрии, митохондриальная ДНК, мутагенез, активные формы кислорода, окислительный стресс.

Митохондрии выполняют метаболические функции и имеют важное значение в жизнеобеспечении клетки. Нарушение функциональной активности митохондрий может происходить вследствие повреждения структуры митохондриальной ДНК мутагенами, которые могут приводить к заменам нуклеотидов в мтДНК [1]. Есть многочисленные данные, подтверждающие большую распространенность некоторых мутаций, а также наличие характерных мутаций для конкретных мутагенов [4, 5, 6].

На данный момент классификация митохондриальных мутагенов отсутствует. Классификация могла бы иметь обширное применение в области митохондриаль-

ной геномики: это могло бы помочь с идентификацией характерных мутационных подписей для групп мутагенов в мутационном спектре мтДНК. Данная статья является аналитической частью проекта по установлению мутационных спектров и характерных черт ключевых мутагенов митохондриального генома.

Наше исследование базируется на работах научной группы под руководством *Serena Nik-Zainal* [2, 3], которые были связаны с установлением особенностей мутагенеза ядерного генома. В рамках этих исследований было проведено полногеномное секвенирование стволовых плюрипотентных клеток человека, которые были предварительно подвержены воздействию мутагенов.

Всего было использовано 73 мутагена, которые в некоторых случаях были представлены разными значениями концентраций и/или комбинациями со смесью S9. Таким образом, в исследовании использовалось 93 вариативных мутагена. Также для своей работы *Serena Nik-Zainal* использовала классификацию мутагенов, которая базировалась на химическом происхождении мутагена, или на физиологическом воздействии мутагена на ядерный геном. В некоторых случаях использовалась группировка по месту нахождения мутагена (например, группа «Медицинские препараты»). Мутагены, которые не были детерминированы, были объединены в группу «Другие».

Мы считаем, что такая классификация недостаточно информативна для исследований, связанных с митохондриальным геномом, так как мтДНК отличается как структурной организацией, так и физиологической и метаболической активностью, внутренней средой, способом репликации и т.д.

Нами было получено разрешение на загрузку и использование в своих исследованиях архивов с данными секвенирования лаборатории *Serena Nik-Zainal*. Мы апробировали исходную классификацию в предварительном анализе митохондриального генома, последовательности которого были извлечены из датасетов [7, 8]. Нами была установлена гетерогенность мутационного спектра для некоторых групп мутагенов, особенно для солей тяжелых металлов. Так, хлориды кадмия и никеля (II) имели аномальное число замен в нехарактерных мутациях, что выделяет их из общей группы. В тоже время, исключив данные металлы из анализа, мы получили статистическую значимость. Таким образом, были установлены статистические различия между солями металлов и другими классами мутагенов для комбинации замен A>G и T>C (Рис. 1). В связи с этим появилась необходимость в разработке классификации митохондриальных мутагенов, учитывающая их разную функциональную активность, а не только сходство в химическом строении.

В ходе предварительного исследования, где мы проводили общий анализ по каждому типу замен в отдельности, мы установили, что мутационный спектр между всеми группами был схож. Мы предположили, что сглаженный мутационный спектр для всех мутагенов обусловлен тем, что активные формы кислорода (АФК) могут воздействовать на митохондриальный геном не напрямую, а косвенно. Достоверно известно, что большое количество мутагенов приводит к увеличению числа АФК и/или инициирует окислительный (оксидативный) стресс в митохондриях [9, 10, 11]. Таким образом, на мтДНК будет напрямую воздействовать не сам мутаген, а АФК. Следовательно, у таких мутагенов мы увидим мутационный спектр, который будет иметь сходство со спектром АФК.

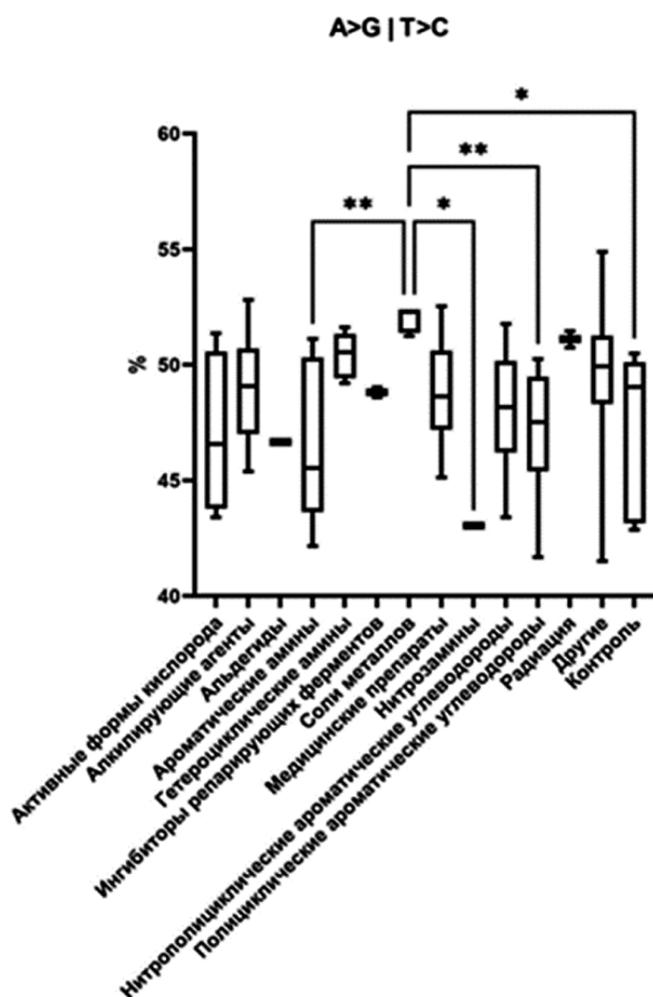


Рис. 1. Процентное распределение мутаций A>G и T>C в мтДНК субклонов, которые были подвержены воздействию мутагенов разных классов.

Из анализа исключены хлориды кадмия и никеля (II).

По вертикали: классы мутагенов, по горизонтали: процентное содержание мутаций.

Статистическая значимость: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$.

Проведя обширный анализ актуальной литературы, мы классифицировали мутагены по разным группам на основании их физиологической активности и химического строения, учитывая наличие функциональных групп и радикалов. Некоторые мутагены не были отнесены к какой-либо группе по причине отсутствия достоверной информации о характере их воздействия на мтДНК. Для описания химической классификации был задействован ресурс «PubChem.NCBI», в некоторых случаях использовались данные из исследований *Serena Nik-Zainal*.

Было определено 29 групп мутагенов во время классифицирования по химическому строению:

1. альдегиды (Ал);
2. амиды (Ад);

3. амины (Ам);
4. ароматические амины (АА);
5. ароматические оксоуглеводороды (АОу);
6. гетероциклические амины (ГцАм);
7. гетероциклические ацелоины (ГцАц);
8. гидразины (Гд);
9. гликопептиды (Гп);
10. металлосодержащие амины (МА);
11. металлосодержащие комплексы (МК);
12. многоатомные ароматический спирт (МАС);
13. мышьяксодержащие соли (МС);
14. непредельные гетероциклы (НГц);
15. непредельный амид (НАд);
16. нитроамины (НАм);
17. нитрозамины (НзАм);
18. нитрополициклические ароматические углеводороды (НпАУ);
19. оксоуглеводороды (Оу);
20. полигетероциклические амины (ПгцАм);
21. полигетероциклические ароматические углеводороды (ПгцАУ);
22. полициклические ароматические карбоновые кислоты (ПцАКК);
23. полициклические ароматические амины (ПцААм);
24. полициклические ароматические гидроксизины (ПцАГа);
25. полициклические ароматические углеводороды (ПцАУ);
26. радиация (Р);
27. серосодержащие углеводороды (СУ);
28. соли тяжелых металлов (СТМ);
29. хиноны (Х).

При классификации мутагенов по функциональной активности было выделено 7 групп:

1. алкилирующие агенты;
2. инициаторы окислительного стресса;
3. аддуктообразователи;
4. активные формы кислорода;
5. ингибитор антиоксидантных ферментов;
6. не оказывают влияния на мтДНК;
7. ингибиторы репаративных белков.

Итоговые результаты представлены в Таблице 1. Обозначение химического класса мутагена было указано рядом с его названием. Функциональные класс указывались под своими номерами из списка.

Таким образом, мы смогли разделить все мутагены по функциональным эффектам в митохондриях, а также на основании химической классификации. Наибольший интерес для нашей работы представляет функциональная классификация, где мы выделили три основные группы мутагенов: инициаторы окислительного стресса, аддуктообразователи и алкилирующие агенты. Под инициаторами окислительного стресса подразумеваются мутагены, которые напрямую не воздействуют на мтДНК, но опосредованно, через образование АФК, могут повреждать мтДНК, вызывая характерные нуклеотидные замены, которые могли бы являться мутационной подписью АФК. При этом большинство всех мутагенов являются именно инициаторами окислительного стресса, что подтверждает наши полученные предварительные результаты. Аддуктообразователи преимущественно представлены полициклическими ароматическими углеводородами и их производными, которые демонстрируют высокую способность необратимо связываться с мтДНК, вызывая нарушение транскрипции и репликации [12]. Как показали результаты нашего анализа, в исследовании *Serena Nik-Zainal* были выделены не все алкилирующие агенты. В эту группу мы дополнительно включили некоторые мутагены из группы «Медицинские препараты», что является корректным с точки зрения их функциональной активности.

Были обнаружены особенности взаимодействия хлорида кадмия с мтДНК: хлорид кадмия способен снижать активность супероксиддисмутазы, ингибируя ее [13]. Ранее мы установили для этого мутагена аномальное число мутаций в нехарактерных заменах, что может быть объяснено его способностью ингибировать антиоксидантные ферменты. Мутационный спектр хлорида кадмия и хлорида никеля (II) схожи, наблюдается аномальное число замен в нехарактерных мутациях. Мы предполагаем, что хлорид никеля (II) тоже может ингибировать супероксиддисмутазу.

Разработанная классификация имеет большое значение для проведения дальнейших работ в рамках нашего исследования, где мы планируем сопоставлять мутационные спектры мутагенов между собой попарно, а также в рамках выделенных групп.

Таблица 1.

Классифицированный список мутагенов (химические и функциональные группы).

Условные обозначения: ► — указание для мутагена из правой колонки,

◄ — указание класса для мутагена из левой колонки, ● — общий класс для мутагенов в строке.

Название мутагена (хим. класс мутагена) (1)	Функциональные классы							Название мутагена (хим. класс мутагена) (2)
	1	2	3	4	5	6	7	
1,2-диметилгидразин (Гд)	●	►						Диэтилсульфат (СУ)
1,4-бензохинон (Х)		●						Камптотецин (ПгцАУ)
1,6-динитропирен (НпАУ)	►		◄					Карбоплатин (МА)
1,8-динитропирен (НпАУ)		●						Катехол (МАС)
1-нитропирен (НпАУ)		●						Метаарсенит натрия (МС)
PhIP (ГцАм)		◄	►					DB(aj)A-DE (ПцАУ)
MeIQx (ГцАм)		◄	►					Дибенз[а, j]акридин (ПцАУ)
Mea- α -C (ГцАм)			●					DB[a, I]P (ПцАУ)
IQ (ГцАм)			●					Дибензо[а, I]пирен (ПцАУ)
2-нафтиламин (АА)		◄	►					DB[a, I]PDE (ПцАУ)
2-нитротолуол (НпАУ)	►	◄						Метилметансульфонат (СУ)
2-нитрофлуорен(НпАУ)	◄	►						Мехлорэтамин (Ам)
3-нитробензантрон (НпАУ)		●						Митомицин С (ПгцАм)
МХ (ГцАц)		●						Нитрат свинца (II) (СТМ)
МОСА (АА)		●						о-Анизидин (АА)
4-аминобифенил (АА)		●						Окись пропилена(Оу)
4-аминодифенил (АА)		●						Оксид стирола (АОу)
5-метилхризен (ПгцАУ)			◄			►		Олапариб (ПгцАУ)
6-нитрохризен (НпАУ)	◄	►						о-Толуидин (АА)
7H-DB(c,g)C (ПцАУ)	►		◄					Офлоксацин В1 (ПцАУ)
AZ20 (-)			►			◄		Охратоксин А (ПцААм)
AZD7762 (-)				►		◄		Пероксид водорода (АФК)
MNU (Нам)	◄	◄		►				Пероксинитрит (АФК)
NPYR (НзАм)		●						Солнечное излучение (Р)
ENU (Нам)	◄		►					Судан I (ПцАГа)
Акриламид (НАд)	►	◄						Темозоломид (ГцАм)
Акролеин (Ал)		►	◄				◄	Формальдегид (Ал)
АА I (ПцАКК)		●						Фуран (НГц)
АА II (ПцАКК)		►	◄		►			Хлорид кадмия (СТМ)
Ацетальдегид (Ал)		●						Хлорид кобальта (СТМ)
Ацетат свинца (II) (СТМ)		●						Хлорид никеля (II) (СТМ)
Бензо[а]пирен (ПцАУ)		►	◄					Хромат калия (СТМ)
Блеомицин (Гп)	►	◄						Циклофосфамид (ГцАм)
Бромат калия (АФК)			►	◄				Цисплатин (МК)
Гамма-излучение (Р)		●						Эллиптицин (ПгцАУ)
Глицидамид (Ад)		●						Этопозид (ПцАУ)
DB(a,h)A (ПцАУ)			◄					

ЛИТЕРАТУРА

1. Roubicek D.A., de Souza-Pinto N.C. Mitochondria and mitochondrial DNA as relevant targets for environmental contaminants // *Toxicology*. — 2017. — Т. 391. — С. 100–108.
2. Kucab J.E. et al. A compendium of mutational signatures of environmental agents // *Cell*. — 2019. — Т. 177. — №. 4. — С. 821–836. e16.
3. Zou X. et al. A systematic CRISPR screen defines mutational mechanisms underpinning signatures caused by replication errors and endogenous DNA damage // *Nature cancer*. — 2021. — Т. 2. — №. 6. — С. 643–657.
4. Federico A. et al. Mitochondria, oxidative stress and neurodegeneration // *Journal of the neurological sciences*. — 2012. — Т. 322. — №. 1-2. — С. 254–262.
5. Ziada A.S. et al. Mitochondrial DNA somatic mutation burden and heteroplasmy are associated with chronological age, smoking, and HIV infection // *Aging cell*. — 2019. — Т. 18. — №. 6. — С. e13018.
6. Partridge M.A. et al. Environmental mutagens induced transversions but not transitions in regulatory region of mitochondrial DNA // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. — 2009. — Т. 72. — №. 5. — С. 301–304.
7. Ван Лейден Н.С., Попадьян К.Ю. Разработка новой классификации для основных мутагенов мтДНК: функциональные и химические аспекты мутагенеза // *ХимБиоSeasons 2023: Сборник тезисов докладов Всероссийского форума молодых исследователей, Калининград, 20–22 апреля 2023 года*. — Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта. — 2023. — С. 16.
8. Ван Лейден Н.С., Патлай Н.И., Патлай И.И. Поиск мутационной подписи активных форм кислорода в мтДНК: анализ экспериментальных данных // *Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования*. — 2021. — №. 3. — С. 4–9.
9. Patlolla A.K. et al. Potassium dichromate induced cytotoxicity, genotoxicity and oxidative stress in human liver carcinoma (HepG2) cells // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2009. — Т. 6. — №. 2. — С. 643–653.
10. Kim J.Y. et al. Ellipticine induces apoptosis in human endometrial cancer cells: the potential involvement of reactive oxygen species and mitogen-activated protein kinases // *Toxicology*. — 2011. — Т. 289. — №. 2-3. — С. 91–102.
11. De Jager T.L., Cockrell A.E., Du Plessis S. S. Ultraviolet light induced generation of reactive oxygen species // *Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment*. — 2017. — С. 15–23.
12. Graziewicz M.A. et al. Nucleotide incorporation by human DNA polymerase γ opposite benzo [a] pyrene and benzo [c] phenanthrene diol epoxide adducts of deoxyguanosine and deoxyadenosine // *Nucleic acids research*. — 2004. — Т. 32. — №. 1. — С. 397–405.
13. Wang Y. et al. Cadmium chloride-induced apoptosis of HK-2 cells via interfering with mitochondrial respiratory chain // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. — 2022. — Т. 236. — С. 113494.

© Ван Лейден Никита Сергеевич (leyden@email.cz); Патлай Наталия Игоревна (nataliyapatlay@gmail.com); Парк Сохи (sohee5172@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОРФОГЕНЕЗ СОМАТИЧЕСКИХ МЫШЦ У OPHISOPS ELEGANS MENETRIES, 1832 (REPTILIA: SAURIA) В ЭМБРИОНАЛЬНОМ ГИСТОГЕНЕЗЕ И ЕГО ЭВОЛЮЦИОННО ПРИСПОСОБИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

**MORPHOGENESIS OF SOMATIC MUSCLES
IN OPHISOPS ELEGANS MENETRIES,
1832 (REPTILIA: SAURIA) IN EMBRYO
HYSTOGENESIS AND ITS EVOLUTIONARY
ADAPTIVE SIGNIFICANCE**

**R. Hashimov
T. Iskenderov
J. Najafov**

Summary. This article discusses the issues of histogenetic recapitulation and autonom migration of myogenic cells in the embryogenesis of Snake-eyed lizard. It has been established that the formation of Snake-eyed lizard somites is observed 3–5 days before incubation. Segmentation of myotomes from somites is observed in the cranio-caudal direction. In the future, myoblasts begin to autonomously migrate to the area where the future muscles are located and multiply intensively under the influence of growth factors. At this stage, the differentiation of myogenic cells occurs using the genetic information and the first signs of differentiation appear.

Keywords: embryogenesis, somites, myoblasts, myogenic cells, migration, histogenetic recapitulation.

Гашимов Рамин Тахир

К.б.н., Азербайджанской Медицинской Университет
raminhesimov@mail.ru

Искендеров Таваккул Мухтар

К.б.н., Институт Зоологии НАНА
iskenderov52m@mail.ru

Наджафов Джанбахиш Али

Д.б.н., профессор,
Бакинский Государственный Университет
canbaxish@gmail.com

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются вопросы гистогенетической рекапитуляции и автономной миграции миогенных клеток в раннем эмбриогенезе позвоночных животных в примере Стройной змееголовки. Установлено, что образование сомитов у Стройной змееголовки наблюдается 3–5 дней до инкубации. Сегментация миотомов из сомитов наблюдается в кранио-каудальном направлении эмбрионов. В дальнейшем из этих миотомов отдаленные миогенные клетки, т.е. миобласты начинают автономно мигрировать в область расположения будущих мышц и усиленно размножаются под влиянием факторов роста. На этой стадии дифференциация миогенных клеток происходит с использованием генетической информации клеток зародыша и появляются первые признаки дифференцировки.

Ключевые слова: эмбриогенез, сомиты, миобласты, миогенные клетки, миграция, гистогенетическая рекапитуляция.

Введение

Скелетно-мышечная ткань в организме взрослых животных составляет почти половину массы тела и специализируется на функции сокращения. Не случайно, что усиление функции скелетных мышц рассматривается как один из принципиальных модулей прогрессивной эволюции тканей (Студитский 1979, 1988). Именно опорно-двигательные органы и скелетные мышцы являясь основными компонентами структуры организма, играют важную роль в жизнедеятельности животных, как в их постнатальной, так и пренатальной жизни. Они также активно участвуют в обменном и функциональном процессах организма животных. Знание закономерностей развития опорно-двигательных органов и скелетных мышц, а также путей их преобразований в эмбриональном гистогенезе, необходимо для познания механизма их становления. Вместе с тем, изучение эмбриогенеза мышечной ткани соматического типа может дать полезную информацию о путях освоения суши этими животными. И наконец, постнатальное развитие

отдельных тканей в известной мере зависит от течения эмбрионального развития, когда закладывается фундамент дальнейшего роста организма (Наджафов 1994, 2001). Установлено, что до образования миобластов происходят глубокие морфологические изменения в развитии зародыша. Механизм перемещения клеточных масс в основном начинается со стадии гастрюляции. На этой стадии начинается использование генетической информации клеток зародыша, появляются первые признаки их дифференцировки. Дифференциация миогенных элементов — это процесс возникновения и нарастания структурных и функциональных различий между отдельными клетками и частями зародыша. С морфологической точки зрения дифференцировка выражается в образовании нескольких сотен типов клеток, имеющих специфическое строение и морфологически отличающихся друг от друга. Специализация клеток имеет и биохимическую сущность, которая заключается в синтезе определённых белков, свойственных только данному типу клеток. По-видимому, биохимической специализацией клеток в раннем эмбриогенезе обеспечивается

дифференциальная активность генов. Эта заключается в том, что в клетках зародышевых листков, в зачатках органов и систем — начинают функционировать разные группы генов. Миграция миогенных клеток — это активное массовое перемещение клеток из одной части зародыша в другую, в результате которого образуются мышечные ткани и различные мышцы как органы. Ведущее значение для прогрессирующей дифференциации миогенных клеток эмбриональных зачатков имеют процессы взаимодействия между клетками участвующие в гистогенезе (Endo T.2015).

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились в 2022-2023 годах на кафедрах «Зоология и физиология» Бакинского Государственного Университета и «Медицинской биологии и генетики» АМУ. Объектами исследований были разные виды ящериц из герпетофауны Азербайджана. В экспериментах нами были использованы *Ophisops elegans* Menetries, 1832. Для получения гистологических материалов в период размножения (май месяц) ящериц на территории Абшеронского полуострова были отловлены 12 беременных самок. Особи самок в дальнейшем отдельно содержались до откладки яиц в специальных пластмассовых контейнерах с соответствующей подстилкой дна. Полученные яйца (16 шт.) были искусственно инкубированы по методике Т.М. Искендерова (1978) при постоянной температуре 28–30°C до вылупления. После завершения сбора материалов отловленные самки были выпущены в природу в местах их отлова. Согласно периодизации эмбриогенеза рептилий (Наджафов и Искендеров, 1995) каждый этап морфогенеза соответствует отдельным срокам искусственной инкубации яиц. Начиная с раннего возраста (до откладки и в день откладки яиц) и далее в разные сроки инкубации были сняты разновозрастные эмбрионы для приготовления гистологических препаратов. В ранних эмбрионах для выявления формы и количества миотомов были приготовлены тотальные и частичные препараты. А в эмбрионах поздних возрастов путем анатомирования брали кусочек пробы из мышечной ткани туловища, хвоста и задней конечности. Гистологические препараты были приготовлены по общепринятой методике. С целью приготовления гистологического препарата из мышечной ткани эмбрионов пробы фиксировались в 10 % растворе формалина в течении 3–4 часов, а потом приготовлены блоки для проведения срезов с толщиной 5 мк. Готовые препараты из мышечной ткани исследовались под микроскопом.

Результаты и их обсуждения

Закладка и формирование мышц у эмбрионов наземных позвоночных животных, в том числе человека происходит не одновременно, и в разных частях тела (Клишов А.А. 1975; Наджафов Дж. А. 2007, 2022; Петренко В.М.

2015; Endo T. 2015). Общеизвестно, что сомиты образуются из мезодермального зародышевого листа (Yemish M. 2023). Сомиты — это дифференцированная клеточная масса, у которой из нижней части образуются склеротомы, из средней части миотомы, из верхней части дерматомы. Образование сомитов у изучаемых видов ящериц наблюдается в первые 3–5 дней после инкубации. Зачатки сомитов начинаются из тяжи дорзальной мезодермы. При этом кручение эмбрионов сопровождается деформацией продольных тяжей дорзальной мезодермы. Сегментации миотомов из сомита наблюдается краниокаудальной направлении эмбрионов. В дальнейшем из этих миотомов отдаленные миогенные клеточные популяции, т.е. миобласты начинают автономно мигрировать в область расположения будущих мышц и усиленно размножаются митозом под влиянием факторов роста. В результате дифференцируются мышцы, как отдельный орган. Как видно, до образования миобластов происходят глубокие морфологические изменения. Таким образом, механизм процесса гастрюляции заключается в перемещении клеточных масс. Однако, на этой стадии начинается использование генетической информации клеток зародыша, появляются первые признаки дифференцировки. Дифференцировка — это процесс возникновения и нарастания структурных и функциональных различий между отдельными клетками и частями зародыша. С морфологической точки зрения дифференцировка выражается в образовании нескольких сотен типов клеток специфического строения, отличающихся друг от друга. С биохимической точки зрения специализация клеток заключается в синтезе определённых белков, свойственных только данному типу клеток. По-видимому, биохимическая специализация клеток обеспечивается дифференциальной активностью генов, т.е. в клетках разных зародышевых листков — зачатков определённых органов и систем — начинают функционировать разные группы генов.

В период эмбрио-гистогенеза дифференциации скелетно-мышечной ткани происходят существенные морфологические перестройки. Отделение миобластов от миотома и слияние в мышечные пластинки и миоимпласты, показатель последующих этапов гистогенетической дифференциации скелетных мышц у животных. Благодаря комплексации миофибрилярного аппарата в этих миогенных структурах формируются сначала миотрубки, а потом примитивные и дефинитивные мышечные волокна. Такая последовательная морфологическая перестройка с одной стороны есть повторная дифференциация миогенных компонентов, с другой — морфофункциональная адаптация мышечной ткани. Закладка основы передних конечностей происходит раньше, чем задних конечностей, который свидетельствуют о гистогенетических градиенте. Гистологические исследования тотальных препаратов эмбрионов ящериц показала, что в дистальных частях эмбриона характерна автономное

миграция миогенных клеточных комплексов в почках передних конечностей. В мышечных клетках туловища (миотомов) отмечается усиленное деление, благодаря чему миграция миогенных клеток в почках задних конечностей осуществляется несколько позже эмбрионального развития (Lewis J., Yanisch A., Holder M. 2009; Mallo M., Vinagre T., Carapuco M. 2009; Sarrazin A.F., Peel A.D., Averof M.A 2012). В развитии мышц конечностей наблюдается проксимо-дистальный градиент. Это означает, что в передней и задней конечностях сначала развиваются хрящи трубчатой кости, а потом к ним (вокруг) мигрируют миобласты. По мнению некоторых авторов, (Данилова, 1960; Ньют, 1973; Жуков 1974) в определении существующего градиента значительную роль играет апикальная чашечка эктодермы, в дальнейшем принимающие участие в образовании почек конечностей. Что касается костно-мышечной связей, то следует отметить, что в области туловища она осуществляется в отдельных опорных точках, а в конечностях мышцы соединены с костями в основном эпифизах. Вокруг костных закладок задних и передних конечностей наблюдается многочисленные мигрирующие миобласты. В продольных срезах целых конечностей видно, что поток миграции миобластов происходит в направлении дистальной части конечностей.

Примечательно, что в миграции миогенных клеток другие тканевые элементы не наблюдаются. Это означает, что процесс миграции идет автономно. По-видимому все эти сложные микро-морфологические изменения происходят двумя путями: генетической информацией и нейросекреторными гормонами. Однако, в раннем эмбриогенезе, т.е. до дефинитивной дифференциации органов нейросекреторные гормоны отсутствуют. Поэтому в этот период в микро-морфологических изменениях главную роль играют генетические информации. А когда завершается органогенез мышц и начинается их иннервация отдельными нервами, вступают в силу нейромедиаторы симпатической нервной системы, особенно ацетилхолин (Наджафов 2007, 2022), т.е. начинает действовать фактор нейросекреторных гормонов. В раннем эмбриогенезе (до откладки яиц) в туловище и в конечностях комплектация мышечных единиц в изогенных группах еще не начата. Этого мы обнаруживали в эмбрионах, полученных из яйцевода самок до откладки яиц.

Одним из малоизученных вопросов в эмбриональном миогенезе является то, что как происходит гистогенетическое (градиенты) изменение при дифференциации соматических мышц у позвоночных животных. Этот вопрос своевременно было поднято и Кнорре (1971, 1981) и Клишовым, (1975), однако, последние годы, почему-то никем не исследованы. Следует признать, что количество миотомов у животных, относящиеся к разным таксономическим группам, существенно изменяется. Отделение миобластов от миотома и их автономные ми-

грации к разным частям тела зародыша, параллельно происходит гистологическая дифференциация. Причем, этот процесс хотя протекает в разное время эмбриогенеза, однако механизм дифференциации миогенеза для изученных видов является одним и тем же способом.

В существующие морфологической перестройке в эмбриональном гистогенезе наблюдается ценогенез, или же эмбриональные приспособление на клеточном (ранний) и симпластическом (поздний) уровне. В пределах этих периодов поперечнополосатые мышечные волокна гистологически еще не дифференцированы, поэтому эти периоды ценогенезом на тканевом уровне называть нельзя. Что же касается прогрессивного изменения гистогенеза скелетных мышц, то оно может послужить фундаментом эволюционных преобразованием того или иного вида.

Еще в прошлом веке Кнорре (1971) отмечал, что «Эволюция есть филоэмбриогенез, т.е. эволюция онтогенезов, не только взрослых форм, поскольку неизбежно должны иметь место эмбриорекапитуляции в гистогенезе». Следует отметить, что вышеизложенные мнения в настоящее время страдают от недостатка конкретных данных. Примером такого рода рекапитуляции может служить дифференциация скелетных мышц у позвоночных животных в эмбриогенезе.

Исследование гистогенеза соматических мышц в период эмбрионального развития показало, что наряду с ценогенезом в дифференциации соматических мышц существует ряд рекапитуляции (Nadjafov, 2001, 2007). С учетом вышеизложенного, коротко рассмотрим: какие гистогенетические рекапитуляции имеются в развитии мышечной ткани пресмыкающихся.

Условно можно представить, что дифференциация мышечных волокон А состоит из следующих стадий; мезодерма, сомиты, миотомы, миобласты, мышечные пластинки, миосимпласты, мышечные трубочки, примитивное (молодые) мышечные волокна, дефинитивное мышечные волокна. Первая из них — образование третьего зародышевого пласта, который формируется либо телобластическим путем (у первичноротных), либо же энтероцельным (у вторичноротных) путем.

Следует отметить, что образование зародышевого пласта можно назвать началом гистогенетических рекапитуляций, так как они возникают в результате дифференциации мезенхимных клеток. Во второй гистогенетической рекапитуляции мезенхимные клетки начинают образовывать сомиты, являющиеся в последующем клеточным источником всех опорно-двигательных, а также покровных органов. В третьей гистогенетической рекапитуляции определенные клеточные популяции отделяются от миотома и автономно мигрируют в область лока-

лизации конкретных мест и образуют мышц как органа. Сданного времени, наряду и гистогенетическими дифференциациями начинаются и анатомические дифференциации отдельных мышц. Во время автономной миграций не исключено и возможность гибели недостаточно созревших миобластов (Michael, 1985). Характерно, что, хотя гистологическая дифференциация скелетных мышц начинается раньше анатомической дифференциацией, но оно заканчивается позже последних.

В четвертой гистогенетической рекапитуляции миогенные клетки начинают сливаться, при этом образуются специфическая гистоструктура — так называемые мышечные пластинки. Стадия мышечных пластинок было обнаружено у низших позвоночных — у хрящевых ганюидов (Гуляевым, 1978, 1981), и у костистых рыб (Наджафов, 1988, 1990). У рептилий впервые обнаружено нами. Для этой структуры характерно то, что она мало ядерное и охватывает почти всю длину миотома, т.е. от миосепты до миосепты. Кроме того, это стадия существует в короткий срок времени и быстро переходит к следующими стадиям.

В пятой гистогенетической рекапитуляции еще сохраняющиеся миобласты продолжают пролиферировать: кроме того, происходит их слияние с мышечными пластинками, в результате чего образуются типичные миосимпласты. Таким образом клеточные популяция переходит в более сложную морфологическую структуры, т. е. на высокий морфологический уровень существования. У всех исследованных рептилий переход в пятую гистогенетическую рекапитуляцию сопровождается ряд биологических процессов. Прежде всего миобласты теряют свою характерную клеточную форму (Студитский, 1959), перестают размножаться (Данилов, 1982), начинают расходовать полисахариды, особенно гликоген (Наджафов 2007). Наряду с этим идет подготовка к комплексации миофибриллярного аппарата.

Шестая гистогенетическая рекапитуляция характеризуются прежде всего образованием мышечных трубочек, появлением мышечных пучков. Это первый признак анатомической дифференциации скелетных мышц. В отличие от предыдущей рекапитуляций, стадия образования мышечных трубочек не так стойка и поэтому ее рекапитуляция происходит в течение короткого времени. Следует отметить, что все эти морфологические преоб-

разования, так называемые гистогенетические рекапитуляции является результатом морфобиологического прогресса, присущие развитию скелетных мышц позвоночных животных в эмбриональном гистогенезе.

В седьмой рекапитуляции происходят существенное морфологические перестройки. Данный этап развития является завершающем этапом в дифференциации скелетных мышц позвоночных животных, поэтому его целесообразно разделить на два под этапом: образование примитивных или молодых, и образование дефинитивных мышечных волокон. Несмотря на продолжительность дифференциации, прогрессивно идет рекапитуляция, в результате чего образуются мышечные волокна и в целом мышц, которые способны сокращаться.

Таким образом, у большинства высших (в том числе и рептилий) позвоночных животных все этапы рекапитуляции миогенных клеток завершаются вовремя эмбриогенезе. Как видно из вышеизложенных до образования мышц как самостоятельного органа, происходит глубокие морфологические изменения, заключавшиеся в том, что каждая последующая форма практически отвергает предыдущую морфологическую форму.

Выводы

1. У рептилий в раннем гистогенезе миогенные элементы, не достигая своей дефинитивной тканевой организации, преобразуются на относительно высоком гистологическом уровне. Эти приспособления можно подразделить на клеточный (ранний) и симпластический (поздний) ценогенез. В дифференциации скелетных мышц у рептилий наблюдается 8 гистогенетических рекапитуляций, каждая из которых переходит в более высокую гистологическую организацию существования.
2. В эмбриональном периоде развития у рептилий рост и дифференциация происходит относительно быстрее, а к откладке яиц мышц дифференцированы на анатомическом уровне. Высокий темп развития и дифференциация скелетных мышц сохраняется в период инкубации яиц, протекающих вне организма матери. Поэтому, при вылуплении скелетные мышцы ящериц достаточно развиты, и способны выполнять различные жизнеспособные функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chal J. Making muscle: skeletal myogenesis in vivo and in vitro // J. Chal, O. Pourquie // *Development*. — 2017. — 144(12). — P. 2104–2122.
2. Chal J. Recapitulating early development of mouse musculo-skeletal precursors of the paraxial mesoderm in vitro // *BioRxiv*. — 2018. — №145 (6). — P. 1–15.
3. Collins J. Congenital muscular dystrophies: toward molecular therapeutic interventions // J. Collins, C.G. Bonnemann // *Curr Neurol Neurosci*. — 2010. — №10. — P. 83–91.
4. Endo T. Molecular mechanisms of skeletal muscle development, regeneration, and osteogenic conversion // T. Endo // *Bone*. — 2015. — №80. — P. 2–13.
5. Lewis J., Yanisch A., Holder M. Notch signaling, the segmentation clock, and the patterning of vertebrate somites // *J. Biol.* — 2009. — V. 8. — P. 44.

6. Mallo M., Vinagre T., Carapuco M. The road to the vertebral formula // Int.J.Biol. — 2009. — V. 53. — P. 1469–1481.
7. Michael A. Viviparity in squamate reptiles is widely recognized as having evolved ... editors. *Biology of the Reptilia*. 1985, Vol. 14. New York: Wiley. p. 75–267.
8. Najafov J.A. Morphological and embryological characters two reptiles in the climate of Azerbaijan. *Jour. Of Morphology*. 1994 V. 220, №3 Wiley — Liss
9. Najafov J.A. Recapitulation of the Somatic Muscles of Vertebral Animals in Prenatal Ontogenesis. *J. of Morfology/ Wiley-Liss*, 2001, v. 248, № 3, p. 265–266.
10. Najafov J., Hashimov R., Khalilov R., Vahedi P. Embryonic development and histological analysis of skeletal muscles of *Tenuidactylus caspius* (Eichwald, 1831) lizards (Reptilia: Squamata). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* Volume 2022, Article ID 3618288, 5 pages
11. Sarrazin A.F., Peel A.D., Averof M. A segmentation clock with two-segment periodicity in insects // *Science*. — 2012. — V. 336. — P. 338–341.
12. Yenmish M., Ayaz D. The story of the finest armor: developmental aspects of reptile skin. *J. Dev. Biol.* 2023, 11, 5, P 12.
13. Гуляев Д.В. Особенности гистогенеза миотомальной мускулатуры низших позвоночных. Тез. докл. VI Всесоюз. сов. эмбриологов. — М. Наука. 1981. — С. 44.
14. Гуляев Д.В. Стадия мышечных пластинок в гистогенезе миотомальной мускулатуры хрящевых ганоидов (*Chondrostei*). *ДАН СССР*, 1978, 242, № 2. — С.442–445.
15. Данилов Р.К. Источники развития и классификация мышечных тканей и миоидных клеточных комплексов. В сб. Мышечная активность и жизнеспособность человека и животных. Депон. В 1986 — № 4596. 138б. — с. 46–48.
16. Данилова Л.В. К вопросу о развитии мускулатуры у зародыша коровы (*Bos taurus*). Тр. ИЭМЭЖ им. А. Н. Северцова АН СССР. 1960. — вып. 29. — с. 34–74.
17. Жуков Е.К. Гистогенез и органогенез поперечнополосатой мускулатуры. В сб. Развитие сократительной функции мышц двигательного аппарата. — Л. Наука, 1974. — С.35–48.
18. Искендеров Т.М. Морфологическая изменчивость в раннем эмбриогенезе некоторых видов рептилий и ее адаптивное значение //автореферат канд. диссерт., Баку, 1978. Новая Книжная Типография. 21 с.
19. Клишов А.А. Дифференцировка митохондрий на типы в эмбриональном гистогенезе скелетных мышц человека. В кн. Дифференцировка клеток в гисто- и органогенезах — Киев, 1975. — с. 160–164.
20. Кнорре А.Г. Проблемы миогенеза. Наука, 1981. — с. 6–20.
21. Кнорре А.Г. Эмбриональный гистогенез. Л. Медицина, 1971 — 431 с.
22. Наджафов Дж.А. Гистогенез скелетных мышц у рыб в раннем эмбриогенезе. Тез. докл. VII школы по биологии мышц. — Харьков, 1988, — С. 23–24.
23. Наджафов Дж.А. Эмбриональное формообразование и гистогенез скелетных мышц у костистых рыб. Изв. АН Азерб. ССР, серия биол. наук. — Баку, 1990, № 2, — С. 62–70.
24. Наджафов Дж.А. Эмбриональный гистогенез скелетных мышц у рептилий. *ДАН СССР. М. Наука*, 1987, -295, № 2, -с. 504-507.
25. Наджафов Дж.А. Сравнительно-эволюционный гистогенез соматических мышц у позвоночных животных в пренатальной жизни. «Муэллим» нешрий-йаты, Баку — 2007, 223 с.
26. Наджафов Дж.А., Искендеров Т.М. Осбенность биологии размножения закавказской гюрзы (*Vipera lebetina obtusa*). // Зоологический журнал, АН СССР, Москва, 1994. том 73, вып. 6, с. 79–84
27. Ньют Д. Рост и развитие животных. — М, Мир, 1973. — 87 с.
28. Петренко В.М. Как запускаются часы сегментации тела? // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 1–7. — С. 1092–1095
29. Студитский А.Н. Механизм сокращения мышц: экспериментально-морфологический анализ. — М. Наука, 1979. 328 с.

© Гашимов Рамин Тахир (raminhesimov@mail.ru); Искендеров Таваккул Мухтар (iskenderov52m@mail.ru); Наджафов Джанбахиш Али (canbaxish@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

FLUCTUATING ASYMMETRY AS AN INDICATOR OF THE DEGREE OF POLLUTION OF TECHNOGENIC TERRITORIES

L. Kubrina

Summary. The article considers the possibility of using the hanging birch as a bioindicator of pollution of technogenic territories. The indicators of fluctuating asymmetry were studied from various points in Omsk.

Keywords: bioindication, atmospheric air pollution, biological monitoring, technogenic territories.

Кубрина Людмила Васильевна

*К.с.х.н., доцент, Омский государственный педагогический университет
kubrina-lyudmila@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования березы повислой в качестве биоиндикатора загрязненности техногенных территорий. Были изучены показатели флуктуирующей асимметрии с различных точек г. Омска.

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение атмосферного воздуха, биологический мониторинг, техногенные территории.

Растения-индикаторы позволяют определить уровень загрязнения среды различными токсическими веществами. Чтобы расти и развиваться растениям приходится адаптироваться к негативному влиянию окружающей среды при помощи физиолого-биохимических и анатомо-морфологических перестроек организма [4,5,11]. Изученная и зарегистрированная оценка таких изменений показывает достоверную картину условий места произрастания растений и отражает состояние среды [2,3,9,10].

Омская область является субъектом Российской Федерации и располагается в южной части Западно-Сибирской равнины.

Климат Омска и Омской области характеризуется преобладанием холодного воздуха, приходящего с северной стороны над более теплым и сухим с юга.

Яркой отличительной чертой климата региона можно назвать малую облачность, поэтому солнечная радиация здесь достигает немалых значений.

Омск является одним из крупнейших нефтехимических комплексов страны, нефть была и остается основным сырьевым ресурсом промышленности региона [1,8,7].

Добыча полезных ископаемых и их переработка позволяет городу осуществлять экспорт. Лидерами Омского экспорта считаются предприятия химии, нефтехимии, нефтепереработки.

Экологическое состояние города Омска не самое благополучное. Основным загрязнителем городской среды является правый берег Иртыша.

Тот факт, что Омск является промышленным городом, объясняется тем, что в военные годы производственные предприятия перенесли из прифронтовых регионов в восточную часть России. Благодаря этому Омск стал главным центром военной промышленности, ведь большая часть продукции на этих предприятиях изготавливалась для фронта.

Места сбора материала проводились в четырех точках.

1. Остановка «Кислородный завод» (напротив хозяйственных корпусов филиала «ОМО им. П.И. Баранова»);
2. Остановка «Ул. 4-я Транспортная» (напротив хозяйственных корпусов ПО «Полет»);
3. Остановка «Пос. Кордный» (напротив производственных корпусов ПАО «Омскшина»);
4. с. Чернолучье, ул. Курортная «Русский лес» — фоновая точка.

Сбор материалов проводился после окончания процесса роста листьев. Отбору материала подвергались средневозрастные деревья, с каждого участка по 50 листьев с трех растений. Итого с каждой площадки было собрано 150 листьев.

Первым местом сбора материала стал участок вблизи остановки «Кислородный завод». Сразу за остановкой находятся хозяйственные корпуса филиала «ОМО им. П.И. Баранова». Площадка находится в непосредственной близости от проезжей части, которая разделяет хозяйственные корпуса. Листья собирались с нижних частей крон средневозрастных деревьев.

До распада СССР большая часть продукции имела оборонный характер. После конверсии производства

стали выпускаться двигатели для гражданской авиации, а также коробки передач для автомобилей «Москвич-412», Иж-2126, мотокультиваторы «Крот» и более мощные модели «Сибиряк», «Омич-1», «Омич-2». Сейчас завод им. П.И. Баранова изготавливает авиадвигатели.

Следующим местом сбора была выбрана площадка недалеко от остановки «4-я Транспортная». Остановка прилегает к проезжей части. Ее окружают, с одной стороны, хозяйственные корпуса ПО «Полет», выбросы которых негативно сказываются на живых организмах, с другой стороны, жилой массив.

ПО «Полет» был создан в начале 40-х годов XX века на основе московских и омских эвакуированных предприятий. Во время отечественной войны завод был одним из главных производителей военной техники. Выпускалось большое количество бомбардировщиков Ту-2, истребителей Як-9 и самых разных самолетов.

На сегодняшний день завод работает по трем направлениям: занимается выпуском ракетно-космической продукцией; авиационную, гражданскую технику, товары для народного пользования.

Метод сбора материала аналогичен методу с первого места сбора.

Местом сбора №3 стал участок, расположенный рядом с остановкой «Пос. Кордный». Через дорогу от места сбора находятся производственные корпуса ПАО «Омскшина». Постройка шинного завода началась еще в конце 30-х годов XX века. А уже в начале 50-х годов завод производил до 15 моделей шин. Завод и на сегодняшний день активно работает. Он обеспечивает шинами почти весь грузовой и пассажирский транспорт Омска.

Во время сбора материала в воздухе присутствовал запах резины. Здесь по-прежнему листья собирались с нижних частей крон деревьев.

Четвертым местом сбора стала южная часть санатория «Русский лес» в с. Чернолущье. Санаторий окружают лесные массивы и хозяйственные постройки. Заводы и др. предприятия, негативно сказывающихся на окружающей среде, отсутствуют.

Объектом данного исследования являются березы повислые среднего возраста, которые произрастают под влиянием техногенного загрязнения на территории

Юго-Восточного промышленного района города Омска. Это достаточно распространенный вид деревьев по всей территории Омской области, так же и в России в целом [8,9].

Полученные данные были проанализированы в соответствии с балльной шкалой отклонений состояния организма от условий нормы по величине интегрального показателя стабильности развития (ИФА) для *B. pendula*. Минимальные значения ИФА, соответствующие четвертому баллу по шкале, зафиксировано в фоновой точке: с. Чернолущье, санаторий «Русский лес».

Использование коэффициента вариации позволяет судить о возможности применения методики флуктуирующей асимметрии для определения качества окружающей среды [6,12]. Если коэффициент вариации по всем пяти параметрам превышает 25%, то она показывает непригодность в биоиндикации данного объекта исследования.

В ходе работы были определены интегральные показатели флуктуирующей асимметрии в разных точках.

1. Остановка «Кислородный завод». В этой точке средний показатель асимметричности равен 0,058.
2. Остановка «ул.4-я Транспортная». Во второй точке среднее значение уровня флуктуирующей асимметрии равно 0,059
3. Остановка «Пос. Кордный». Для этой точки средний показатель асимметричности равен 0,063.

С. Чернолущье, ул. Курортная «Русский лес». У четвертого участка средний показатель асимметричности равен 0,051.

На сегодняшний день известно, что такой крупнопромышленный город Омск не желает отставать от других городов, поэтому в нем активны большинство заводов и предприятий. Для развития страны это правильная тактика, а вот для состояния среды совсем наоборот. Главная цель предприятий: производить больше товара, перерабатывать больше сырья-затуманивает разум предпринимателей. В ходе чего, в ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» все чаще поступают жалобы от городских жителей о качестве воздуха на различных участках в том числе и в юго-восточном промышленном районе города Омска. Поэтому очень кстати самостоятельно применять метод флуктуирующей асимметрии березы повислой для определения качества среды в определенных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугрова С.В. Морфометрические особенности березы повислой в условиях городов Самары и Сызрани / С.В. Бугрова // Экологический сборник 7: Труды молодых ученых. — Тольятти, 2019. — С. 91–95.
2. Бунькова Н.П. Оценка качества среды в городском лесопарке методом флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) / Н.П. Бунькова, В.В. Абраменко // Леса России и хозяйство в них. — Екатеринбург, 2020. — №1(72). — С. 54–64.

3. Гапоненко А.В. Оценка экологического состояния урбоэкосистемы по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой / А.В. Гапоненко, М.Е. Тимофеева // Экологическое краеведение. — Москва, 2016. — №1. — С. 229–234.
4. Дьяченко Г.И. Мониторинг среды обитания: учеб.-метод. Пособие / Г.И. Дьяченко. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. — 40 с.
5. Ерофеева Е.А. Оценка качества окружающей среды урбанизированной территории по интенсивности липопероксидации и величине флуктуирующей асимметрии листа *Betula pendula* Roth. / Е.А. Ерофеева // Записки Горного Института. — СПб, 2013. — Т.203. — С. 166–169.
6. Зорина А.А. Техногенная и широтная изменчивость величины асимметрии Березы повислой и пушистой / А.А. Зорина // Проблемы региональной экологии. 2019. № 1. С. 21–29.
7. Клевцова М.А. Экодиагностика урбанизированной среды по морфометрическим показателям листовых пластинок *Betula pendula* Roth. / М.А. Клевцова, А.А. Михеев // Региональные геосистемы. — Белгород, 2020. — Т.44. — № 4. — С. 432–445.
8. Кубрина Л.В. Изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* R.) для оценки качества среды в центральном административном округе г. Омска / Л.В. Кубрина, К.Э. Ахметова // Экологизация сфер жизни общества и общественного сознания: проблемы и перспективы: сборник статей. Омская гуманитарная академия. 2018. С. 70–73.
9. Кубрина Л.В. Флуктуирующая асимметрия листьев березы повислой (*Betula pendula* R.) как показатель качества воздуха в центральном административном округе г. Омска / Л.В. Кубрина, Е.А. Супиниченко // Экологические проблемы региона и пути их разрешения: материалы XII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 17–20.
10. Минакова Е.К. Оценка окружающей среды урбосистемы г. Казань с использованием метода биоиндикации: придорожные территории / Е.К. Минакова, А.П. Шлычков, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. — Казань, 2015. — Т.18. — №17. — С. 225–229.
11. Попкова М.А. Флуктуирующая асимметрия листа березы повислой в природных и антропогенных условиях / М.А. Попкова, А.А. Дружинин // Современное естествознание и охрана окружающей среды. — Курган, 2013. — С. 19–20.
12. Соколова Г.Г. Оценка стабильности развития листьев березы бородавчатой в условиях Новосибирска / Г.Г. Соколова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. — Барнаул, 2021. — С. 214–218.

© Кубрина Людмила Васильевна (kubrina-lyudmila@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СОСТОЯНИЕ ИНДИКАТОРНОГО ВИДА HEMEROCALLIS MINOR MILL. ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ОТВАЛАХ¹

THE STATE OF THE INDICATOR SPECIES
HEMEROCALLIS MINOR MILL. DURING
THE RECONSTRUCTION OF VEGETATION
COVER ON DUMPS

A. Kupriyanov
D. Shatilov
O. Kupriyanov
Yu. Manakov

Summary. To restore the floral diversity on the dumps, a technology was developed for the reconstruction of the vegetation cover, which consists in removing the fertile soil layer with plant derivatives and applying it to the prepared surface of the dump. To assess the success of the application of the new technology, an indicator species, *Hemerocallis minor* Mill., which is an edifier of meadow-steppe communities on the steep foothills of the Kuznetsk Alatau, was used. Over four years of observations, the occurrence in any variant does not fall below 40 %, the projective coverage is about 5 %, which can be considered a good result for the reconstruction of vegetation cover and the formation of a nature-like community on the dump.

Keywords: Kuzbass, coal dumps, reconstruction of vegetation cover, *Hemerocallis minor* Mill.

Куприянов Андрей Николаевич

д.б.н., г.н.с., Кузбасский ботанический сад Федерального
научного центра Угля и углехимии СО РАН
Kupr-42@yandex.ru

Шатилов Дмитрий Александрович

Соискатель, Кузбасский ботанический сад
Федерального научного центра Угля и углехимии СО РАН
Dimson42@gmail.com

Куприянов Олег Андреевич

к.б.н., научный сотрудник, Кемеровский филиал
Института вычислительных технологий СО РАН
Kuproa@gmail.com

Манакон Юрий Александрович

д.б.н., г.н.с., Институт почвоведения
и агрохимии СО РАН
Jm515@yandex.ru

Аннотация. Для восстановления флористического разнообразия на отвалах была разработана технология реконструкции растительного покрова, которая заключается в снятии плодородного слоя почвы с семязачатками дериватами растений и нанесение ее на подготовленную поверхность отвала. Для оценки успешности применения новой технологии использован вид-индикатор, *Hemerocallis minor* Mill., являющийся эдификатором лугово-степных сообществ на увалистых предгорьях Кузнецкого Алатау. За четыре года наблюдений встречаемость ни в одном варианте не становится ниже 40 %, проективное покрытие составляет около 5 %, что можно считать хорошим результатом для реконструкции растительного покрова и формирования природоподобного сообщества на отвале.

Ключевые слова: Кузбасс, отвалы угольных предприятий, реконструкция растительного покрова, *Hemerocallis minor* Mill.

Введение

В соответствии с ГОСТ Р 57446-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия» одним из приоритетных направлений восстановления нарушенных земель является реставрационно-ландшафтная рекультивация, которая проводится с целью формирования фитоценозов, максимально приближенных по своим фитоценологическим характеристикам к состоянию исходных растительных сообществ. Для восстановления флористического разнообразия на отвалах была разработана технология реконструкции растительного покрова, которая заключается в снятии плодородного слоя почвы

с семязачатками дериватами растений и нанесение ее на подготовленную поверхность отвала, минуя стадию формирования буртов (Куприянов и др., 2021, 2022).

Для оценки успешности применения новой технологии использован такой критерий как вид-индикатор, широко используемый в программах по сохранению биоразнообразия по состоянию которого можно было бы судить об успешности проводимых мероприятий (Levin, 2013; United Nations..., 2001; Яшина, 2011). В качестве индикаторного вида, показывающего успешность реконструкции растительного покрова на отвале, выбран *Hemerocallis minor* Mill., являющийся эдификатором лугово-степных сообществ на увалистых предгорьях Кузнецкого Алатау (Куминова, 1949; Шереметова, Шереметов,

¹ Работа выполнена в рамках договора с АО ХК «СДС-Уголь», Шахтоуправление «Майское» № 01/ТР/2018 от 12 мая 2019

2020). Примечательно, что при естественном зарастании отвалов Кузбасса, этот вид не отмечался (Стрельникова и др., 2009; Манаков и др., 2011).

Целью работы является оценка состояния популяции *H. minor* в природоподобном сообществе, формирующимся на отвале.

Объекты и методика исследований

Объектом исследования выбран отвал вскрыши угольного разреза «Первомайский» (ООО «Шахтоуправление «Майское»), расположенный в лесостепной зоне Кузбасса, Растительный покров находится в стадии формирования группово-зарослевого сообществ и представлен 21 видом.

Объектом для снятия слоя почвы явились полидоминантные луга, находящиеся вблизи угольного разреза, которые со временем должны быть уничтожены при развитии угольного разреза. Травостой густой, проективное покрытие 95–100 %, высота травостоя около 100 см. Видовая насыщенность достигает 50 видов на 100 м².

Схема опыта следующая: контроль-1 (полидоминантный луг); опытные варианты включали нанесение 60, 40, 20 см почвы с семязачатками и вегетативными частями растений; контроль-2 (участок отвала с естественным самозарастанием). Площадь каждого варианта 1000 м².

В каждом варианте во второй декаде июля проводилось составление флористических списков в десятикратной повторности на площади 1 м². Определялось количество видов (шт./м²), встречаемость (%), парциальное проективное покрытие (%), выделены классы постоянства (КП) с шагом в 20 %: I — до 20 %; II — 21–40 %; III — 41–60 %; IV — 61–80 %; V — 81–100 %. Для каждого варианта рассчитывался показатель активности вида как мера жизненного преуспевания вида на данной территории, одно из выражений «веса вида» в данной флоре (Зверев, 2007; Куприянов и др., 2018).

Ежегодно анализировалось положение вида в растительном сообществе. В каждом варианте выборочно отбиралось по 10 экземпляров, на которых определялась высота, см; диаметр дернины, см; количество генеративных побегов, шт., длина, ширина листьев, см; отношение длины листа к ее ширине. Обработка полученных результатов проводилась в программе Statistica 9.

Результаты и обсуждение

За четыре года в контроле встречаемость *H. minor* варьировала от 100 до 50 % и составила в среднем 77 %. В опытных вариантах встречаемость уменьшается до 41–45 %, с небольшими колебаниями внутри вари-

антов. Среднее проективное покрытие за четыре года составила в контроле — 22,0 %. Проективное покрытие в опытных вариантах составила 22–26 % от контроля. Активность вида в опытных вариантах составляет 30,5–33,7 % от контроля (табл. 1). В контроле положение *H. minor* остается стабильным, и он занимает по активности I–II места. В варианте с нанесением 60 см почвы положение *H. minor* чрезвычайно нестабильное — от III места в 2019 и 2022 гг., до IX места в 2020 году и XXI — в 2021 году. В варианте с нанесением 40 см почвы так же отмечена большая нестабильность положения вида внутри сообщества, исключением стал 2022 год, в котором *H. minor* занял по активности первое место. В варианте с нанесением 20 см слоя почв положение *H. minor* достаточно стабильное: I, XIII, XIII, IV места по годам (табл. 1).

Таблица 1.

Структурные показатели *Hemerocallis minor* при реконструкции растительного покрова на отвале

Вариант	*V,%	P,%	A	Место
Контроль 1				
2019	67	8,0	23,2	II
2020	100	26,9	53,5	I
2021	50	23,0	33,9	I
2022	90	30,0	52,0	I
Ср.	77	22,0	40,7	
Нанесение 60 см почвы				
2019	50	7,5	19,0	III
2020	60	0,95	7,5	IX
2021	10	1,0	3,2	XXI
2022	40	10	20,0	III
Ср.	40	4,9	12,4	
Нанесение 40 см почвы				
2019	50	2,1	10,1	IV
2020	60	6,1	19,1	IV
2021	0,2	2,0	6,3	XXVI
2022	70	13,0	30,2	I
Ср.	45	5,8	13,7	
Нанесение 20 см почвы				
2019	67	8,9	24,40	I
2020	40	1,6	8,0	XIII
2021	20	2,0	6,3	XIII
2022	40	6,5	16,1	IV
Ср.	41	4,8	13,7	

*V% — встречаемость; P,% парциальное проективное покрытие; A — активность, балл; Место — положение во флористическом списке по активности.

Высота индикаторного вида вида *H. minor* за четыре года по мере уменьшения наносимого слоя почвы заметно снизилась с 63,0 см в контроле до 43,0 см в варианте с нанесением 20 см почвы. Количество цветоносных побегов в опытных вариантах так же снижается в два и более раза по сравнению с контролем, что связано с частично повреждаемыми корневищами при переносе растений. Диаметр особи в опытных вариантах снижается на 19–27 % по сравнению с контролем. Длина и ширина листа варьируют в достаточно значительных пределах, что связано, очевидно, с погодными условиями, но тенденция сохраняется: с уменьшением слоя почвы — уменьшается длина листа. (табл. 2).

Таблица 2.

Морфометрические показатели *Hemerocallis minor* при реставрации растительного покрова на отвале, 2020–2022 гг. (n=10)

Показатель	Год	Контроль, луг	Нанесение 60 см почвы	Нанесение 40 см почвы	Нанесение 20 см почвы
Высота, см	2020	65,5±1,0	61,6±2,6	43,1±3,8	50,0±1,0
	2021	61,4±4,8	45,8±3,1	35,1±2,8	33,4±2,4
	2022	62,0±1,5	53,0±3,0	56,1±2,3	45,5±1,5
	Ср.	63,0	53,5	44,8	43,0
Количество генеративных побегов, шт	2020	4,7±1,0	1,4±0,2	2,7±0,6	2,8±0,1
	2021	4,4±0,8	0,25±0,2	1,4±0,7	2,6±1,4
	2022	2,6±0,2	1,5±0,3	1,0±0,2	0,9±0,3
	Ср.	3,9	1,1	1,7	2,1
Диаметр особи, см	2020	20,0±2,5	13,4±1,3	14,6±2,5	21,3±3,2
	2021	20,7±1,6	13,0±1,1	13,5±0,9	12,6±1,1
	2022	11,0±1,1	11,6±1,7	9,2±0,9	8,0±0,8
	Ср.	17,2	12,7	12,4	14,0
Длина листа, см	2020	34,0±2,5	38,0±2,2	32,1±3,1	27,8±1,0
	2021	70,0±2,1	65,8±2,9	61,7±1,4	44,1±4,4
	2022	54,5±1,8	51,2±2,8	51,4±1,9	40,1±2,1
	Ср.	57,2	48,3	48,4	37,3

Показатель	Год	Контроль, луг	Нанесение 60 см почвы	Нанесение 40 см почвы	Нанесение 20 см почвы
Ширина листа, см	2020	1,6±0,3	1,2±0,07	1,3±0,1	1,1±0,1
	2021	0,8±0,04	0,6±0,04	0,9±0,05	0,6±0,05
	2022	1,1±0,08	0,7±0,06	1,0±0,09	0,9±0,04
	Ср.	1,2	0,8	1,1	0,9
Длина/ширина	2020	21,2±2,5	31,7±2,9	24,7±3,2	25,3±1,3
	2021	87,5±6,0	109,7±3,9	68,6±3,3	73,5±4,2
	2022	49,0±4,4	73,1±5,6	51,4±6,7	44,6±3,6
	Ср.	52,6	70,9	48,2	47,8

Hemerocallis minor — нитрофильное растение, по статусу оптимума увлажнения он имеет балл 55,5, что соответствует хорошо увлажненным почвам, а по оптимуму богатства-засоления почв он имеет балл 12,5, что свидетельствует богато-гумусированным почвам (Королюк, 2006). С другой стороны, для этого вида характерна высокая вариабельность морфометрических параметров (Жапова, 2005). Ухудшение водообеспеченности приводит к угнетению растений (Жапова, 2005). Несмотря на снижение показателей встречаемости и парциального проективного покрытия присутствие *Hemerocallis minor* при реконструкции растительного покрова лугов постоянно, он занимает места в первой двадцатке видов, а в варианте с нанесением 40 см по проективному обилию, встречаемости и активности стабильно занимает четвертое место.

Заключение

Для оценки технологии реконструкции растительного покрова на отвалах, которая заключается в снятии плодородного слоя почвы с семязачатками, корневищами, живыми растениями и нанесение ее на подготовленную поверхность отвала использован вид-индикатор *Hemerocallis minor* Mill., являющийся эдификатором лугово-степных сообществ на увалистых предгорьях Кузнецкого Алатау. За четыре года наблюдений встречаемость ни в одном варианте не становится ниже 40 %, проективное покрытие составляет около 5 %, что можно считать хорошим результатом для реконструкции растительного покрова и формирования природоподобного сообщества на отвале.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 57446-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия»
- Жапова О.И. Эколого-биологическая характеристика красоднева малого — *Hemerocallis minor* Miller, произрастающего на территории Восточного Забайкалья // Вестник Бурятского университета. Серия 2: Биология. Вып. 7 — Улан-Удэ, 2005. С. 164–168.
- Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: учеб. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
- Королюк А.Ю. Экологические оптимумы растений юга Сибири. // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Барнаул. Вып. 12. 2006. С. 3–28.

5. Куминова А.В. Растительность Кемеровской области. Новосибирск, 1949(1950) 166 с.
6. Куприянов А.Н., Казьмина С.С., Зверев А.А. Изменение флористического состава растительных сообществ Караканского хребта вблизи угольных разрезов // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2018. № 43. С. 66–88. DOI: 10.17223/19988591/43/4
7. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Куприянов О.А., Шатилов Д.А. Реконструкция почвенно-растительного слоя на поверхности отвалов в Кузбассе // Уголь. 2021. № 2. С. 46–52. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-46-52.
8. Куприянов О.А., Шатилов Д.А., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Природоподобные технологии восстановления растительного покрова на отвалах // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. 2022. № 10 (123). С. 13–19.
9. Стрельникова Т.О., Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Конспект флоры отвалов Кузнецкого угольного бассейна. // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Кемерово. Вып. 15. 2009. С. 21–49.
10. Шереметова С.А., Шереметов Р.Т. Бассейн реки Томь: флористические и физико-географические особенности. Новосибирск: Академическое из-во «Гео». 2020. 323 с.
11. Яшина Т.В. Индикаторы оценки биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Руководство по использованию. Красноярск, 2011. 56 с.
12. Levin S. Encyclopedia of Biodiversity: Encyclopedia of Biodiversity, 2nd Edition (7 Volume Set). New York: Academic Press. 2013. 5504 p.
13. United Nations Environment Programme — Convention on Biological Diversity, (2001), Indicateurs et étude d'impact sur l'environnement, Conception de programmes de surveillance et d'indicateurs à l'échelle nationale, Montreal, 12-16 novembre 2001, UNEP/CBD/SBSTTA/7/12, 26p.

© Куприянов Андрей Николаевич (Kupr-42@yandex.ru); Шатилов Дмитрий Александрович (Dimson42@gmail.com);
Куприянов Олег Андреевич (Kuproa@gmail.com); Манаков Юрий Александрович (Jm515@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НЕПРЯМОЙ КОММУНИКАЦИИ МЕЛКИХ ЛЕСНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ

INVESTIGATION OF SOME FEATURES OF INDIRECT COMMUNICATION OF SMALL FOREST MAMMALS IN CONDITIONS OF RECREATIONAL DISTURBANCES OF FOREST COMMUNITIES

**M. Lomskov
A. Kononov
E. Makarova**

Summary. The article is devoted to the study of the issues of indirect communication of certain species of small forest mammals living in forests with recreational disorders. As a result of statistical processing, it was revealed that most of the obtained capture sequences (90 %) were not random and did not depend on the abundance of the species.

Keywords: recreational disturbances, forest biotopes, chemical communication, small mammals.

Ломсков Михаил Александрович

*К.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
lomskovta@mail.ru*

Коновалов Александр Михайлович

*К.с.-х.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
zoolog82@mail.ru*

Макарова Елена Александровна

*К.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
letemakarova@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена изучению вопросов непрямої коммуникации отдельных видов лесных мелких млекопитающих, обитающих в лесах с рекреационными нарушениями. По итогу статистической обработки было выявлено, что большая часть полученных последовательностей поимок (90 %) не являлась случайной и не зависела от обилия вида.

Ключевые слова: рекреационные нарушения, лесные биотопы, химическая коммуникация, мелкие млекопитающие.

Рекреационная деятельность, активно осуществляемая на природных территориях, в той или иной степени влияет на организмы, обитающие в подобных биотопах. Если обсуждать данную разновидность антропогенного воздействия на примере мелких лесных млекопитающих, ряд видов которых являются модельными объектами исследования то, главным образом, рекреационные нарушения воздействуют путем изменения содержания ресурсов и экологической структурированности, что влечет за собой нарушение кормовой базы и защищенности данных животных (Нуриманова, 2010).

Второй аспект влияния может быть связан со сбором древесных ресурсов для разжигания костров. Изменение ресурсов питания влияет на предпочтения грызунов в пищу, что влияет, в том числе, и на питательную ценность пищи. Рекреационные нарушения могут снижать доступность кормов для грызунов, тем самым заставляя их прибегать к изменению своих предпочтений в пищу. Например, в условиях рекреационных нарушений лесов, полевки не избирательны в ценофобных растениях и чаще предпочитают именно их, что связано со снижением их избирательности из-за уменьшения защищенности в таких условиях (Нуриманова, 2009).

Актуальность работы обусловлена, в первую очередь, тем фактом, что интенсивность антропогенного преобразования окружающей среды с каждым годом все больше увеличивается, что, в свою очередь, оказывает прямое или опосредованное влияние на организмы, существующие в условиях трансформированной человеком среды.

Химическая коммуникация, как одна из разновидностей непрямої коммуникации, является доминирующим способом передачи и получения информации для многих видов млекопитающих. Ранее было выявлено, что запаховые сигналы играют важную роль для идентификации таких признаков как, например, пол, видовая принадлежность, способность к размножению (как правило, определяется у самок), положение в социальной иерархии. Доказано, что каждая особь обладает индивидуальным запахом, позволяющим эффективно использовать его в качестве средства, как внутри-, так и межвидовой коммуникации. (Рожнов, 2011)

В качестве запаховых сигналов у мелких лесных млекопитающих можно рассматривать практически все био-

логические жидкости организма (например, экскременты, секреты различных желез и т.п.). Следует упомянуть, что система запаховых сигналов, как способ опосредованной коммуникации среди грызунов часто играет важную роль в протекании их физиологических процессов. Так, например, запаховые сигналы, которые посылает самцу готовая к размножению самка, играют важную роль в формировании его половой системы (Литвинова, 2003).

Цель работы — изучить особенности непрямой коммуникации лесных мелких млекопитающих рассматриваемых видов в условиях рекреационных нарушений лесов Ногинского района Московской области на основании последовательных поимок в ловушки-живоловки.

Задачи исследования

1. Выявить отличия реакций модельных видов мелких лесных млекопитающих на запах друг друга на контрольной и опытной площадках.
2. Определить отличия реакций мелких лесных млекопитающих исследуемых видов разных **возрастов** на запах друг друга на контрольной и опытной площадках
3. Определить отличия реакций мелких лесных млекопитающих исследуемых видов разных **полов** на запах друг друга на контрольной и опытной площадках

Материалы и методы

Полевые данные были собраны в Ногинском районе Московской области на базе ИПЭЭ имени А.Н. Северцева РАН «Черноголовка». Данный район Подмосковья характеризуется умеренно-континентальным климатом с холодной и продолжительной зимой, в меру теплым и коротким летом со средней температурой от -8°C (зимой) до $+19,4^{\circ}\text{C}$ (летом). Среднее годовое количество осадков составляет порядка 740 мм.

Рельеф Ногинского района характеризуется возвышенностями с системой глубоких речных долин и наличием древнеозерных котловин. Основными типами почв являются флювиогляциальные пески и супесь (Родионов, 2014).

На равнинных участках рассматриваемого района распространены сосновые леса, поэтому основными видами древесной растительности являются сосна и ель, однако также встречаются берёза, дуб, липа, рябина. На большей части территории расположены болота, флора которых представлена сфагново-осоковым покровом. Наблюдаются также и обезлесенные участки (Родионов, 2021).

В качестве модельных объектов исследования были выбраны следующие виды мелких млекопитающих:

4 вида грызунов (Rodentia):

- полевая мышь *Apodemus agrarius*,
- малая лесная мышь *Sylvaeus uralensis*,
- домовая мышь *Mus musculus*,
- рыжая полевка *Clethrionomys glareolus*.

4 вида насекомоядных (Insectivora):

- обыкновенная бурозубка *Sorex araneus*,
- средняя бурозубка *Sorex caecvtiens*,
- малая бурозубка *Sorex minutus*,
- обыкновенная кутора *Neomys fodiens*.

Для отлова животных использовали ловушки-живоловки трапикового типа (ловушки Шермана). Ловушки выставляли в лесном массиве с большим количеством поваленных деревьев, находящимся на территории базы. Ловушки были расставлены на расстоянии 5 метров одна от другой, у выступающих корней, пней и поваленных деревьев, за один раз выставлялось 25 ловушек. Использовали стандартную приманку — кусок черного хлеба, смоченного нерафинированным подсолнечным маслом. Ловушки проверяли дважды в день (утром и вечером).

Контрольная площадка была выбрана в участке леса, максимально удаленном со всех сторон от антропогенных построек. Опытная площадка была расположена в участке леса, испытывающем стабильную рекреационную нагрузку на протяжении летнего периода.

Всего в ходе работы были проанализированы и статистически обработаны (с использованием программы STATISTICA 13) 2448 случаев поимок зверьков в ловушки-живоловки. Были проведены расчеты таких показателей, как хи-квадрат и значения критерия достоверности (P).

Результаты исследований

Самки в большей доле реагировали друг на друга на контрольных площадках (33,33 %), нежели на опытных (менее 1 %). Самцы с одинаковой частотой реагировали друг на друга, как на контрольных, так и на опытных площадках.

Особь одного возраста в большей доле реагировали друг на друга на контрольных площадках (61,11 %), нежели на опытных (44,44 %). Взрослые особи в большей доле реагировали на взрослых особей (50 %, контрольная площадка) и на полувзрослых особей (100 %, опытная площадка). В то время как на самих взрослых особей в большей доле реагировали взрослые, полувзрослые особи (по 50 %, контроль) и полувзрослые особи (50 %, опыт). Полувзрослые особи как на контрольной (62 %),

так и на опытной площадке (75 %) в большей доле реагировали на полувзрослых особей, также как и на них в большей доле реагировали полувзрослые особи (60 % контроль и 100 % опыт).

На обоих видах площадок мелкие лесные млекопитающие с одинаковой частотой реагировали как на представителей своего вида, так и на представителей других видов. Чаще остальных видов вступали в реакции с особями своего и других видов — рыжая полевка (на контрольной площадке), обыкновенная бурозубка

(на опытной площадке). Малые лесные мыши чаще вступали в реакции с рыжими полевыми (на контрольной площадке) и с обыкновенными бурозубками, а также с особями своего же вида (на опытной площадке). Рыжие полевки чаще вступали в реакции с представителями своего вида (на контрольной площадке) и с обыкновенными бурозубками, а также с особями своего же вида (на опытной площадке). Обыкновенные бурозубки чаще вступали в реакции с представителями своего вида, как на контрольной, так и на опытной площадках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинова, Е.М. Индивидуальный запах: факторы, определяющие его формирование и распознавание у джунгарского хомячка (*Phodopus sungorus* Pallas, 1773): специальность 03.02.04 «Зоология»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Е.М. Литвинова. — М., 2003. — 172 с.
2. Нуриманова, Е.Р. Некоторые механизмы трофических адаптаций рыжих полевок (*Clethrionomys glareolus*) в рекреационных лесах Подмосковья / Е.Р. Нуриманова, И.А. Жигарев, В.В. Алпатов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 3. — С. 10–20.
3. Нуриманова, Е.Р. Влияние рекреационного пресса на питание рыжей полевки (*Clethrionomys (Myodes) glareolus*) в лесах Подмосковья: специальность 03.02.08 «Экология (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Нуриманова Елизавета Рушановна. — М., 2010. — 171 с.
4. Рожнов, В.В. Опосредованная хемокоммуникация в социальном поведении млекопитающих / В.В. Рожнов; Российская академия наук, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова. — М.: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2011. — 288 с. — ISBN 978-5-87317-787-5.
5. Родионов, С.С. Геоэкологическая оценка устойчивости природного комплекса территории малых городов Ногинского района Московской области: специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / С.С. Родионов. — М., 2014. — 159 с.
6. Родионов, С.С. Геоэкологический анализ природно-социально-производственных систем Ногинского района Московской области / С.С. Родионов, Н.Ю. Иванов // Экологические системы и приборы. — 2021. — № 3. — С. 37–44.

© Ломсков Михаил Александрович (lomskovma@mail.ru); Коновалов Александр Михайлович (zoolog82@mail.ru);
Макарова Елена Александровна (lelemakarov@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ РЕЦЕПТОРОВ НЕЙРОТРАНСМИССИИ НА РАЗВИТИЕ СМЕШАННОГО ТИПА ТАРДИВНОЙ ДИСКИНЕЗИИ У БОЛЬНЫХ ШИЗОФРЕНИЕЙ¹

INFLUENCE OF NEUROTRANSMISSION RECEPTOR GENE POLYMORPHISM ON THE DEVELOPMENT OF MIXED TYPE OF TARDIVE DYSKINESIA IN PATIENTS WITH SCHIZOPHRENIA

**I. Pozhidaev
E. Kornetova
S. Ivanova**

Summary. Tardive dyskinesia (TD) is a severe and potentially irreversible movement disorder that can develop as a side effect of long-term use of antipsychotic medications. The study studied the polymorphism of neurotransmitter genes (serotonin, muscarinic and adrenergic) receptors, which hypothetically may play a role in the development of antipsychotic-induced TD and its phenotypically different subtypes in patients with schizophrenia. It has been shown that the rs2036108 allelic variant of the *ADRA1A* gene is involved in the formation of the genetic component of the development of the mixed subtype of drug-induced TD in patients with schizophrenia.

Keywords: schizophrenia, mixed subtype of tardive dyskinesia, neurotransmitter receptors, gene polymorphism.

Пожидает Иван Вячеславович

Научный сотрудник, лаборатория молекулярной генетики и биохимии НИИ психического здоровья Томского НИМЦ
craig1408@yandex.ru

Корнетова Елена Георгиевна

Доктор медицинских наук, Заведующий отделением эндогенных расстройств, НИИ психического здоровья Томского НИМЦ
ekornetova@outlook.com

Иванова Светлана Александровна

Доктор медицинских наук, профессор, руководитель лаборатории молекулярной генетики и биохимии, зам. директора по научной работе НИИ психического здоровья Томского НИМЦ
ivanovaniipz@gmail.com

Аннотация. Тардивная дискинезия (ТД) — это тяжелое и потенциально необратимое двигательное расстройство, которое может развиваться как побочный эффект длительного приема антипсихотических лекарств. В исследовании проведено изучение полиморфизма генов нейромедиаторных (серотониновых, мускариновых и адренергических) рецепторов, которые гипотетически могут играть роль в развитии антипсихотик-индуцированной ТД и её фенотипически различных подтипов у больных шизофренией. Показано, что аллельный вариант rs2036108 гена *ADRA1A* участвует в формировании генетической компоненты развития смешанного подтипа лекарственно-индуцированной ТД у больных шизофренией.

Ключевые слова: шизофрения, смешанный подтип тардивной дискинезии, нейромедиаторные рецепторы, полиморфизм генов.

Введение

Поздняя или тардивная дискинезия (ТД) — это нежелательный эффект длительной антипсихотической терапии, характеризующийся произвольными движениями, которые могут быть необратимыми даже после отмены препарата [1]. Согласно результатам одного из зарубежных мета-анализов, проведенном на основании 41 исследования и включающее более 11 тысяч пациентов, получающих антипсихотическую терапию, средняя частота встречаемости ТД составляет 25,3 % [2]. Двигательные побочные эффекты, в свою очередь, осложняют течение основного заболевания, усиливая выраженность негативных, когнитивных и аффективных

расстройств, приводят к дополнительной социальной стигматизации больных, ухудшают качество жизни пациента и являются причиной отказа от терапии [3].

Дальнейший прогресс в области прогноза и терапии тардивной дискинезии, согласно мнению зарубежных и отечественных исследователей, будет связан с пониманием механизмов, лежащих в основе развития данного расстройства и разработкой подходов к персонализации терапии [4, 5, 6]. Несмотря на активно обсуждающиеся гипотезы возникновения побочных эффектов, патофизиологические механизмы, лежащие в основе антипсихотик-индуцированной тардивной дискинезии ещё недостаточно изучены [7]. В возникнове-

¹ Исследование проведено в рамках выполнения комплексной темы НИР «Биопсихосоциальные механизмы патогенеза и клинического полиморфизма, адаптационный потенциал и предикторы эффективности терапии у больных с психическими и поведенческими расстройствами в регионе Сибири», регистрационный номер 122020200054-8»

нии тардивной дискинезии важная роль принадлежит генетическим факторам, и в первую очередь генам нейромедиаторных рецепторов, являющихся «мишенями» действия антипсихотических препаратов [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. В зависимости от преобладания двигательных расстройств в различных частях тела ТД подразделяется на различные подтипы, при этом, наиболее общепринятой является подразделение на орофациолингвальную и лимбтранкальную дискинезии [5, 16]. Выдвигается гипотеза, что фенотипически разные подтипы дискинезий могут иметь и различные генетические особенности [8].

Целью исследования является изучение ассоциаций и возможного генетического регуляторного потенциала генов нейромедиаторных рецепторов у больных шизофренией со смешанным подтипом тардивной дискинезии.

Материал и методы

Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами ведения исследований человека согласно протоколу, утвержденному локальным этическим комитетом НИИ психического здоровья Томского НИМЦ. В исследовании включена выборка из 449 пациентов, страдающих шизофренией и проходивших стационарное лечение. Критерии включения в выборку: подтвержденный диагноз шизофрении в соответствии с Международной классификацией болезней 10-й ревизии (МКБ-10), длительное применение антипсихотических препаратов (не менее шести месяцев), возраст пациентов от 18 до 65 лет и принадлежность к славянскому этносу.

Обследование пациентов проводилось с использованием стандартизированной международной шкалы патологических непреднамеренных движений (Abnormal Involuntary Movement Scale — AIMS), позволяющей диагностировать наличие дискинезии и степень ее выраженности. Для постановки диагноза тардивной дискинезии использовали критерий Schooler and Kane [16], в соответствии с которым необходимо наличие 3 баллов по одному из пунктов шкалы, либо по 2 балла по двум пунктам шкалы.

Для получения ДНК забор венозной крови у пациентов осуществлялся в вакуум-содержащие пробирки с антикоагулянтом ЭДТА (Vacuette EDTA). Геномную ДНК выделяли с использованием стандартного фенол-хлороформного протокола из лейкоцитов периферической крови. Последующее хранение образцов выделенной ДНК производилось в mQ-воде при -20°C . Качество и количество полученной ДНК оценивали с помощью спектрофотометра NanoDrop8000. Генотипирование 54 однонуклеотидных полиморфных вариантов 12 генов серотониновых, мускариновых и адренергических рецепторов проводилось посредством масс-спектрометрии

(MALDI-TOF) на генетическом анализаторе Sequenom MASS-Array Analyzer 4 наборами iPLEX Gold 384.

Статистическая обработка полученных результатов генотипирования была проведена в несколько этапов. Первоначально результаты для однонуклеотидных полиморфизмов были проверены по таким критериям как процент успешно прогенотипированных образцов для каждого SNP, частота минорного аллеля, а также на соответствие распределению частот генотипов ожидаемому при условии соблюдения равновесия Харди-Вайнберга. Последующий статистический анализ выполнен в программной среде R 3.6.2 с использованием базовых функций. Ассоциативный анализ был выполнен с помощью критерия хи-квадрат и точного критерия Фишера (менее пяти наблюдений в любой ячейке). Анализ соответствия частот генотипов, ожидаемым при равновесии Харди-Вайнберга выполнен с помощью критерия хи-квадрат Пирсона. В случаях, когда в какой-либо из ячеек было менее пяти наблюдений, использовали точный критерий Фишера.

Результаты и обсуждения

Тардивная дискинезия, в соответствии с критериями была диагностирована у 121 пациента; не имели ТД 328 пациентов. В данном исследовании нами применён синдромальный подход к объединению групп в зависимости от преобладания симптомокомплексов по AIMS, что позволило выделить смешанный тип ТД — тип, когда одновременно присутствуют проявления орофациолингвального и лимбтранкального типов ТД. Пациенты с тардивной дискинезией подразделялись следующим образом: пациенты с орофациолингвальным типом ТД — 52 человека, с лимбтранкальным типом ТД — 8 человек, смешанный тип ТД был выявлен у 61 пациента.

Половозрастные и клинические характеристики пациентов с шизофренией представлены в таблице 1. Средний возраст больных с тардивной дискинезией и длительность заболевания была достоверно выше чем у пациентов без ТД ($p < 0,001$).

В таблице 2 представлены характеристики для группы пациентов с шизофренией с тардивной дискинезией смешанного типа в сравнении с группой шизофрении без ТД. Возраст пациентов и возраст манифестации значимо не отличались в группах, однако длительность заболевания имеет статистически значимые различия.

Все исследуемые полиморфные варианты (*CHRM1* (rs2075748, rs544978, rs2067477, rs2067479, rs2186410, rs542269), *CHRM2* (rs2061174, rs324650, rs2350780, rs1824024, rs7810473, rs2350786, rs324640, rs1378650), *CHRM4* (rs2067482, rs72910092, rs35646260, rs7107481, rs16938505, rs16938502, rs2229163, rs11823766), *ADRβ1* (rs1801253), *ADRA1A* (rs2036108, rs472865), *HTR1A*

(rs10042486, rs749099, rs1364043, rs1800042, rs6295), *HTR1B* (rs6298, rs6296, rs130058), *HTR2A* (rs6314, rs6313, rs1928040, rs6311, rs6312, rs7997012, rs9316233, rs2224721), *HTR2C* (rs3813929, rs569959, rs5946189, rs4911871, rs6318, rs12858300, rs17326429, rs1801412), *HTR3A* (rs1176713, rs33940208, rs1062613), *HTR3B* (rs1176744), *HTR6* (rs1805054) были выбраны на основе литературных данных и результатов собственных предыдущих фармакогенетических исследований.

Таблица 1.

Половозрастные и клинические характеристики пациентов с шизофренией с ТД и без ТД

Характеристики		Пациенты без ТД (n=328)	Пациенты с ТД (n=121)	p
Пол	Мужчины, n (%)	152 (46.3 %)	71 (58.7 %)	0.027
	Женщины, n (%)	176 (53.7 %)	50 (41.3 %)	
Возраст, годы		37 [31; 48]	48 [37.5; 58]	<0.001
Возраст манифестации, годы		24 [20; 30]	25 [20; 32]	0.974
Длительность заболевания, годы		11 [5; 18]	20 [12; 29.5]	<0.001

Примечание: сравнение между группами по разным показателям было выполнено с помощью t-критерия Стьюдента

Таблица 2.

Половозрастные и клинические характеристики пациентов с шизофренией с ТД смешанного типа и без ТД

Характеристики		Пациенты без ТД (n=328)	Пациенты с ТДмикс (n=61)	p
Пол	Мужчины, n (%)	152 (46.3 %)	36 (57.4 %)	0.046
	Женщины, n (%)	176 (53.7 %)	25 (42.6 %)	
Возраст, годы		37 [31; 48]	50 [38.50; 58]	0.758
Возраст манифестации, годы		24 [20; 30]	24 [20; 32]	0.068
Длительность заболевания, годы		11 [5; 18]	19 [10; 30]	<0.004

Примечание: сравнение между группами по разным показателям было выполнено с помощью t-критерия Стьюдента

Характеристики частот из данных проекта «1000 геномов» и проведенного в данном исследовании генотипирования, для большей части полиморфизмов частоты минорного аллеля совпадают или же находятся в небольшом отклонении в пределах допустимых величин, показанных для европеоидных популяций.

Результаты, которые не удовлетворяют условию нормального распределения частот в соответствии с законом Харди-Вайнберга, были исключены из дальнейшего ассоциативного анализа.

Проведение статистического анализа проводилось между группами пациентов с шизофренией без тардивной дискинезии и пациентов с шизофренией с тардивной дискинезией смешанного типа. С учётом того, что ген *HTR2C* располагается на X-хромосоме, для него было проведено дополнительное разбиение групп на мужчин и женщин соответственно.

Для аллельных вариантов адренергических рецепторов была найдена ассоциация для варианта rs2036108 гена *ADRA1A* как для генотипов, так и для аллелей ($\chi^2 = 9.599$, $p = 0.008$; $\chi^2 = 8.358$, $p = 0.004$ соответственно) (табл. 3). Полученные результаты позволяют заключить, что носительство генотипа AA и аллеля A повышают риск развития смешанного типа ТД у пациентов с шизофренией (OR = 7.48, 95 %CI = [1.77–31.55]; OR = 1.92, 95 %CI = [1.23–3.00] соответственно). Для остальных исследуемых полиморфных вариантов генов нейромедиаторных рецепторов не было найдено статистически значимых результатов в отношении смешанного типа ТД у пациентов с шизофренией.

В основном в литературе ранее были представлены ассоциации для орофациолингвальной и лимботранкальной дискинезий, в патогенезе которых существенная роль принадлежит полиморфным вариантам дофаминовых и серотониновых рецепторов и генов системы цитохромов, участвующих в метаболизме антипсихотиков [17, 18, 19, 20].

Таблица 3.

Результат сравнения частот объединённых генотипов для rs2036108 гена *ADRA1A*

Аллельный вариант. Ген	Генотипы/ аллели	Пациенты с шизофренией, n (%)	Пациенты с ТД микс, n (%)	OR	95% CI	χ^2	p
rs2036108. <i>ADRA1A</i>	GG	217 (66.4%)	29 (49.2%)	0.49	[0.28–0.86]	9.599	0.008
	AG	106 (32.4%)	26 (44.1%)	1.84	[1.03–3.27]		
	AA	4 (1.2%)	4 (6.8%)	7.48	[1.77–31.5]		
	G	0.826	0.712	0.52	[0.33–0.82]	8.358	0.004
	A	0.174	0.288	1.92	[1.23–3.00]		

Примечание: ТДмикс — смешанный тип тардивной дискинезии; OR — отношение шансов, 95 %CI — 95 % доверительный интервал [нижняя и верхняя границы]

Ген *ADRA1A* (adrenoceptor alpha 1A), кодирует альфа-1-адренергические рецепторы (альфа-1-AR), которые являются членами суперсемейства G-связанных рецепторов. Адренергические рецепторы альфа-1A (α1A) являются важными мишенями для атипичных антипсихотических препаратов и могут влиять на клинический исход антипсихотического лечения, включая побочные реакции. Прямой антагонизм рецепторов α1A способствует подавлению положительной симптоматики и опосредует активацию дофаминовых нейронов, уменьшая чувствительность мезолимбических нейронов к различным проблемам, таким образом связывая эти рецепторы с антипсихотической активностью и связанными с ними экстрапирамидными расстройствами [21].

Ряд исследований подтверждают принадлежность полиморфных вариантов гена *ADRA1A* к патогенетическим процессам шизофрении и лекарственным осложнениям нейролептической терапии. Cheng C. с соавт. при изучении четырех полиморфизмов данного гена адренорецептора выявили ассоциации определенных полиморфизмов с тяжёлым течением антипсихотик-индуцированных метаболических нарушений [22]. Исследования полиморфизма гена в отношении tardивной дискинезии являются единичными и противоречивыми: наши предыдущие исследования продемонстрировали значимую ассоциацию полиморфного варианта rs2036108 гена *ADRA1A* с ТД [23], в то время как Saiz PA et al. выявили значимые ассоциации нескольких полиморфных вариантов гена, которые нивелировались по-

сле их коррекции на множественные сравнения [24].

Для оценки возможного генетического регуляторного потенциала был проведен поиск по данным проекта Genotype-Tissue Expression (GTEx) (<http://www.gtexportal.org/>), продемонстрировавший, что полиморфный вариант rs2036108 гена *ADRA1A* не является eQTL-локусом. Однако, в соответствии с данными портала атласа экспрессии (<https://www.ebi.ac.uk/gxa/home>) в отношении экспрессии гена *ADRA1A* показано, что наблюдается определенная экспрессия в различных отделах головного мозга, что вместе с литературными ассоциативными исследованиями позволяют говорить о роли адренергического рецептора и полиморфизма кодирующего рецептор гена *ADRA1A* в развитии побочных эффектов применения антипсихотических средств.

Выводы

В представленном исследовании впервые проведен ассоциативный анализ широкого спектра полиморфизмов нейромедиаторных (серотониновых, мускариновых и адренергических) рецепторов для смешанного подтипа ТД и выявлены ассоциации для полиморфизма rs2036108 гена *ADRA1*. Необходимо проведение дальнейших фармакогенетических исследований, направленных на оценку генетических факторов развития побочных эффектов и разработку персонализированных подходов к терапии.

ЛИТЕРАТУРА

- Correll C.U., Kane J.M., Citrome L.L. Epidemiology, Prevention, and Assessment of Tardive Dyskinesia and Advances in Treatment. *J Clin Psychiatry*. 2017 Sep/Oct;78(8):1136–1147. doi: 10.4088/JCP.tv17016ah4c.
- Carbon M., Hsieh C.H., Kane J.M., Correll C.U. Tardive Dyskinesia Prevalence in the Period of Second-Generation Antipsychotic Use: A Meta-Analysis. *J Clin Psychiatry*. 2017 Mar;78(3):e264–e278. doi: 10.4088/JCP.16r1083
- Rekhi G., Tay J., Lee J. Impact of drug-induced Parkinsonism and tardive dyskinesia on health-related quality of life in schizophrenia. *J Psychopharmacol*. 2022 Feb;36(2):183–190. doi: 10.1177/02698811211055812.
- Takeuchi H., Mori Y., Tsutsumi Y. Pathophysiology, prognosis and treatment of tardive dyskinesia. *Ther Adv Psychopharmacol*. 2022 Oct 21;12:20451253221117313. doi: 10.1177/20451253221117313.
- Loonen A.J. M., Ivanova S.A. New insights into the mechanism of drug induced dyskinesia//*CNS Spectrums* — 2013 — Volume 18 — Issue 01 — pp 15–20
- Корнетова Е.Г., Семке А.В., Дмитриева Е.Г., Бородюк Ю.Н., Бойко А.С. Клинические и социальные факторы риска tardивной дискинезии у пациентов с шизофренией в процессе лечения антипсихотиками. *Бюллетень сибирской медицины*. 2015;14(1):32–39. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2015-1-32-39>
- Вайман Е.Э., Шнайдер Н.А., Незнанов Н.Г., Насырова Р.Ф. Патологические механизмы, лежащие в основе антипсихотик-индуцированной tardивной дискинезии // *Бюллетень сибирской медицины*. — 2019. — Т. 18, № 4. — С. 169–184. — DOI 10.20538/1682-0363-2019-4-169-184.37.
- Иванова С.А., Федоренко О.Ю., Бокхан Н.А., Лунен А. Фармакогенетика tardивной дискинезии. — Томск: Изд-во «Новые печатные технологии», 2015. — 120 с.
- Müller D.J., Chowdhury N.I., Zai C.C. The pharmacogenetics of antipsychotic-induced adverse events. *Curr Opin Psychiatry*. 2013 Mar;26(2):144–50. doi: 10.1097/YCO.0b013e32835dc9da.
- Boiko A.S., Ivanova S.A., Pozhidaev I.V., Freidin M.B., Osmanova D.Z., Fedorenko O.Y., Semke A.V., Bokhan N.A., Wilffert B., Loonen A.J.M. Pharmacogenetics of tardive dyskinesia in schizophrenia: The role of CHRM1 and CHRM2 muscarinic receptors // *World J Biol Psychiatry*. 2019 Jan 9:1–6. doi: 10.1080/15622975.2018.1548780
- Levchenko A., Kanapin A., Samsonova A., Fedorenko O.Y., Kornetova E.G., Nurgaliev T., Mazo G.E., Semke A.V., Kibitov A.O., Bokhan N.A., Gainetdinov R.R., Ivanova S.A. A genome-wide association study identifies a gene network associated with paranoid schizophrenia and antipsychotics-induced tardive dyskinesia. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2021 Mar 8;105:110134. doi: 10.1016/j.pnpbp.2020.110134.

12. Lanning R.K., Zai C.C., Müller D.J. Pharmacogenetics of tardive dyskinesia: an updated review of the literature. *Pharmacogenomics*. 2016 Aug;17(12):1339-51. doi: 10.2217/pgs.16.26.
13. Loonen A.J.M., Wilffert B., Ivanova S.A. Putative role of pharmacogenetics to elucidate the mechanism of tardive dyskinesia in schizophrenia *Pharmacogenomics* 2019 Nov;20(17):1199–1223. doi: 10.2217/pgs-2019-0100.
14. Шнайдер Н.А., Вайман Е.Э., Незнанов Н.Г., Насырова Р.Ф. Фармакогенетика антипсихотик-индуцированных экстрапирамидных расстройств — Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ДЕАН», 2022. — 288 с.
15. Федоренко О.Ю., Иванова С.А., Корнетова Е.Г. Роль полиморфизма генов дофаминовой и глутаматной систем в клинической гетерогенности шизофрении и развитии антипсихотик-индуцированных побочных эффектов // Сибирский вестник психиатрии и наркологии. 2023. Т.1. №118. С5–13. doi:10.26617/1810-3111-2023-1(118)-5-13
16. Schooler N.R., Kane J.M. Research diagnoses for tardive dyskinesia // *Arch. Gen. Psychiatry*. — 1982. — Vol.39, Issue 4. — P.486–487.
17. Al Hadithy A.F., Ivanova S.A., Pechlivanoglou P., Semke A., Fedorenko O., Kornetova E., Ryadovaya L., Brouwers J.R., Wilffert B., Bruggeman R., Loonen A.J. Tardive dyskinesia and DRD3, HTR2A and HTR2C gene polymorphisms in Russian psychiatric inpatients from Siberia. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2009 Apr 30;33(3):475–81. doi: 10.1016/j.pnpbp.2009.01.010
18. Ivanova S.A., Toshchakova V.A., Filipenko M.L., Fedorenko O.Y., Boyarko E.G., Boiko A.S., Semke A.V., Bokhan N.A., Aftanas L.I., Loonen A.J. Cytochrome P450 1A2 co-determines neuroleptic load and may diminish tardive dyskinesia by increased inducibility. *World J Biol Psychiatry*. 2015 Apr;16(3):200-5. doi: 10.3109/15622975.2014.995222
19. Pozhidaev I.V., Paderina D.Z., Fedorenko O.Y., Kornetova E.G., Semke A.V., Loonen A.J.M., Bokhan N.A., Wilffert B., Ivanova S.A. 5-Hydroxytryptamine Receptors and Tardive Dyskinesia in Schizophrenia. *Front Mol Neurosci*. 2020 Apr 24;13:63. doi: 10.3389/fnmol.2020.00063.
20. Loonen A.J.M., Ivanova S.A. Role of 5-HT2C receptors in dyskinesia// *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* — 2016 — Vol 8, Issue 1, — P. 5–10
21. Svensson T.H. Alpha–adrenoceptor modulation hypothesis of antipsychotic atypicality // *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. — 2003. — Vol. 27, № 7. — P. 1145–1158.
22. Cheng C., Chiu H.J., Loh el-W., Chan C.H., Hwu T.M., Liu Y.R., Lan T.H. Association of the ADRA1A gene and the severity of metabolic abnormalities in patients with schizophrenia. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2012 Jan 10;36(1):205-10. doi: 10.1016/j.pnpbp.2011.10.011.
23. Пожидаев И.В., Падерина Д.З., Федоренко О.Ю., Бойко А.С., Корнетова Е.Г., Бохан Н.А., Иванова С.А. Ассоциативные исследования полиморфных вариантов генов адренергических рецепторов и тардивной дискинезии при шизофрении // *Медицинская генетика*. 2021. Т. 20. № 3 (224). С. 36–40.
24. Saiz P.A., Susce M.T., Clark D.A., Kerwin R.W., Molero P., Arranz M.J., de Leon J. An investigation of the alpha1A-adrenergic receptor gene and antipsychotic-induced side-effects. *Hum Psychopharmacol*. 2008 Mar;23(2):107–14. doi: 10.1002/hup.903.

© Пожидаев Иван Вячеславович (craig1408@yandex.ru); Корнетова Елена Георгиевна (ekornetova@outlook.com);
 Иванова Светлана Александровна (ivanovaniipz@gmail.com)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ Г. МАГАДАНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

FEATURES OF THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN DRINKING WATER OF MAGADAN AND THEIR IMPACT ON PUBLIC HEALTH

**N. Pokhilyuk
A. Gorbachev
A. Kirichuk**

Summary. The content of chemical elements in drinking water from springs in the vicinity of Magadan and the central water supply system was investigated. The content of 25 macro- and microelements in water samples was determined.

It was found that the indicators of spring and tap water had no significant differences. The water samples analyzed are very soft and slightly mineralized (ultra-fresh). Drinking water is characterized by low levels of essential vital elements, in particular magnesium and calcium compounds. Very low silicon content in water is a regional feature.

The marked imbalance of the elemental composition of drinking water sources in Magadan can serve as the basis of pathological processes in the body of the population. Prolonged use of such drinking water can contribute to the development of osteoporosis (deficiency of silicon and calcium), the occurrence of disorders of the cardiovascular system (magnesium deficiency), skin and bone system, the formation of immunoresistance (excess iron).

The issue of overcoming the elemental deficit of ultra-fresh drinking water, bringing its composition to the indicators of physiological usefulness is considered.

Keywords: North, drinking water, chemical composition, elementoses, disease prevention.

Похилюк Наталья Владимировна

врач-бактериолог,

ГБУЗ «Магаданская областная больница»

natalis2686@mail.ru

Горбачев Анатолий Леонидович

доктор биол. наук, профессор, ФГАОУВО Северо-Восточный государственный университет (Магадан)

gor000@mail.ru

Киричук Анатолий Александрович

доктор биол. наук, профессор, ФГАОУВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Москва)

kirichuk-aa@rudn.ru

Аннотация. Исследовано содержание химических элементов в питьевой воде из родников в окрестностях г. Магадана и системы центрального водоснабжения. Проведено определение содержания 25 макро- и микроэлементов в пробах воды.

Установлено, что показатели родниковой и водопроводной воды не имели значимых различий. Пробы воды, подвергнутые анализу, являются очень мягкими и слабоминерализованными (ультрапресными). Питьевая вода характеризуется низкими уровнями основных жизненно важных элементов, в частности соединений магния и кальция. Очень низкое содержание кремния в воде является региональной особенностью.

Отмеченный дисбаланс элементного состава источников питьевой воды в г. Магадане может служить основой патологических процессов в организме населения. Продолжительное употребление такой питьевой воды может способствовать развитию остеопороза (дефицит кремния и кальция), возникновению нарушений со стороны сердечно-сосудистой системы (дефицит магния), кожи и костной системы, формированию иммунорезистентности (избыток железа).

Рассматривается вопрос преодоления элементного дефицита ультрапресной питьевой воды, приведения ее состава к показателям физиологической полноценности.

Ключевые слова: север, питьевая вода, химический состав, элементозы, профилактика заболеваний.

Введение

В настоящее время многими исследователями осуществляется масштабное изучение условий среды обитания и их влияние на формирование экологозависимых заболеваний, относимых к болезням цивилизации. В последние годы проблему обеспеченности населения чистой питьевой водой в России и во всем мире относят к основным факторам национальной безопасности в области охраны здоровья. Обширное антропогенное воздействие человека на окружающую среду

часто сопряжено с негативным влиянием разной интенсивности на источники воды. Вопрос низкого качества питьевой воды затрагивает различные стороны жизни общества с момента начала его существования.

Общемировые ресурсы питьевой воды занимают 20 процентов территории России, при этом доброкачественной питьевой водой обеспечено лишь 63,9 % населения (Тулакин и др., 2016). Также жители некоторых регионов испытывают недостаток в обеспечении питьевой водой. В целом по стране 28,4 % проб воды, отобранных

из источников питьевого водоснабжения, не соответствуют гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (Никонова, Дрягина, 2018).

Считается, что черты элементного статуса человека имеют тесную связь с химическим составом окружающей среды. С учетом путей поступления минеральных веществ в организм основным их источником для человека является водно-пищевой рацион (Горбачев, 2006; Корчин и др., 2018). При этом только региональные источники питьевой воды могут быть постоянным основным источником макро- и микроэлементов для населения (Горбачев, 2021). Продолжительное употребление воды, не сбалансированной по химическому составу (содержащей недостаток и/или избыток химических элементов) может приводить к развитию заболеваний геохимической природы (элементозов).

Химический состав природных вод Магаданской области является гидрокарбонатно-кальциевыми, ультрапресным (по степени минерализации; 0,5 г/дм³); очень мягким (по жесткости; до 1,5 мг-экв/дм³) (Зуев, Сережников, 1998).

Требования к питьевой воде определены в гигиенических нормативах. Согласно которым к ней предъявляются требования по органолептическим показателям, оптимальному химическому составу и эпидемиологической безопасности. Питьевая вода, как основной источник минеральных веществ в организме, должна быть физиологически полноценна, что обуславливает ее сбалансированность по минеральному составу (Якубова и др., 2015).

Цель работы — исследование некоторых химических показателей питьевой воды г. Магадана и их возможного влияния на элементный статус и здоровье населения.

Материалы и методы

Проведен анализ результатов измерений санитарно-химических показателей воды, полученных нами в ходе лабораторных исследований, проведенных на базе ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Магаданской области». Отбор воды производили в 2016 г. из распределительной сети г. Магадана в весенний и осенний периоды — 130 и 101 проб соответственно. Определены: в 87 образцах жесткость общая, в 40 образцах сухой остаток, в 101 образцах железо, в 54 образцах марганец, в 74 образцах медь, цинк, свинец, кадмий. Химический анализ проводился на приборах: анализатор «Капель», спектрометр атомно-абсорбционный с электротермической атомизацией «КВАНТ.Z».

Изучена вода из централизованной сети г. Магадана и вода из трех родников, расположенных в окрестно-

стях города Магадана, отобранная в 2020 г. Определение неорганических веществ и водородного показателя проведено в испытательной лаборатории Центра биотической медицины (г. Москва). Применены методы: атомно-эмиссионной спектрометрии (АЭСИСП) и масс-спектрометрии (МС-ИСП) с индуктивно связанной плазмой. Установлены концентрации 25 макро- и микроэлементов в воде: кальция, магния, фосфора, марганца, кремния, натрия, калия, железа, йода, кобальта, селена, хрома, цинка, меди, алюминия, мышьяка, никеля, свинца, кадмия, ртути, олова, бора, бериллия, лития, ванадия. Отбор образцов проведен зимой (январь) и летом (июнь) в соответствии с установленной методикой (ГОСТ 59024-2020).

Анализ и статистическая обработка результатов измерения химических показателей питьевой воды проведена с использованием программ Microsoft Excel (Microsoft Office 2016, Microsoft Corporation, USA) и Statistica 10.0 for Windows (Statsoft, Tulsa, USA).

Результаты и их обсуждение

Водоснабжение населения г. Магадана обеспечивается из двух искусственных водохранилищ на р. Каменушке. Забор воды для холодного водоснабжения осуществляется из верхнего водохранилища, горячего — из нижнего. Перед подачей воды населению проводится только обеззараживание воды гипохлоритом натрия, водоочистные сооружения на водохранилище отсутствуют.

На базе ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Магаданской области» определен химический состав 231 пробы питьевой воды, отобранной из распределительной сети г. Магадана. Исследованы показатели: общая жесткость воды, концентрация тяжелых металлов (железа, марганца, кадмия, свинца, меди, цинка). Полученные данные представлены в таблице 1.

В весенний период общая жесткость воды соответствовала интервалу от 0,16 до 2,1 °Ж, в осенний — от 0,15 до 2,65 °Ж. В рекомендациях Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) указано, что поступление кальция и магния в организм человека в достаточном количестве возможно при условии потребления питьевой воды с показателем жесткости соответствующим примерно 5 °Ж. Согласно санитарным правилам и нормам (СанПиН 1.2.3685-21, СанПиН 2.1.3684-21) жесткость для питьевой воды не должна превышать 7 °Ж. Норматив физиологической полноценности бутилированной воды (СанПиН 2.1.4.1116-02) по жесткости равен 1,5–7 °Ж. Таким образом, показатель жесткости в исследованных пробах не превышает нормативное значение, при этом может указать на пониженное поступление кальция и магния в организм жителей г. Магадана.

Таблица 1.

Содержание некоторых химических элементов
в питьевой воде г. Магадана

Показатель	Период года	Количество проб с изучаемым показателем		Концентрация (min-max), мг/л
		всего	из них, не соотв. гигиеническим нормативам	
Железо	весна	101	10	менее 0,04–2,2
	осень	89	13	менее 0,04–1,2
Марганец	весна	58	1	менее 0,001–0,698
	осень	33	0	менее 0,001–0,008
Цинк	весна	74	0	менее 0,001–0,067
	осень	44	0	менее 0,001–0,019
Медь	весна	74	0	менее 0,001–0,008
	осень	44	0	менее 0,001–0,006
Свинец	весна	74	0	менее 0,001–0,0024
	осень	44	0	менее 0,001–0,004
Кадмий	весна	74	0	менее 0,0001
	осень	44	0	менее 0,0001–0,0003

Содержание марганца в питьевой воде только в 1 пробе, отобранной в весенний период, превысило установленную нормативную величину (0,1 мг/л) — 0,698 мг/л. Повышенное содержание железа в воде выявлено в каждой десятой пробе.

Определенные уровни химических веществ в питьевой воде г. Магадана сопоставимы с результатами, полученными в ходе изучения проб воды на базе лаборатории Центра биотической медицины (г. Москва) (Горбачев, 2021).

Согласно полученными нами данным, минеральные составы родниковой и водопроводной воды г. Магадана сходны. Водородный показатель в пробах родниковой воды соответствует значениям 6,42–6,50, водопроводной воды — 6,79–7,03. В тоже время отмечено повышение концентрации железа, марганца, цинка в питьевой воде из системы централизованного водоснабжения относительно родниковой. При этом относительное повышение марганца и цинка составило 1–2 порядка, но оно не превысило установленные значения ПДК этих элементов. Концентрация железа (0,27±0,005 мг/л) находилась на границе ПДК (0,3 мг/л), что способствует ухудшению органолептических свойств питьевой и способно оказывать отрицательное воздействие на организм.

Другим отличием воды из разных источников явился более высокий уровень селена во всех пробах роднико-

вой питьевой воды (превышений ПДК не установлено), где его содержание (0,002±0,0007 мкг/мл) было на порядок больше в сравнении с водой из распределительной сети централизованного водоснабжения (<0,000195 мкг/мл). Повышенная концентрация указанного микроэлемента, обладающего эссенциальными свойствами, способствует улучшению физиологических свойств воды.

Достоверных отличий в содержании неорганических веществ в питьевой воде в зимний и летний периоды не установлено. Отмечена тенденция к увеличению уровней марганца и кальция в зимний период в пробах из источников централизованного водоснабжения и родников. При этом результаты проведенного химического анализа воды указывают на ее физиологическую неполноценность. В большей мере это связано с содержанием кальция и магния. Значения медианы и центильного интервала кальция равны 4,52 (2,95–5,30) мг/л, магния — 0,83 (0,75–1,16) мг/л.

В питьевой воде, в соответствии с рекомендациями ВОЗ, величина неорганических веществ должна составлять: 20–80 мг/л кальция и 10–30 мг/л магния. На территории России согласно санитарным правилам и нормам (СанПиН 1.2.3685-21, СанПиН 2.1.3684-21) в питьевой воде: норматив для кальция не установлен, магний не должен превышать значение 50 мг/л. СанПиН 2.1.4.1116-02 устанавливает показатели физиологически полноценной бутилированной воды на уровне: кальций 25–130 мг/л, магний — 5–65 мг/л.

Таким образом, в питьевой воде концентрация кальция должна быть не менее 20 мг/л, магния — 5 мг/л. Полученные в ходе исследования данные указывают на низкое содержание кальция и магния в воде независимо от места отбора (водопроводная сеть, родники). По показателю «жесткость» измеренные значения соответствуют степени «очень мягкая вода» (до 1,5 ммоль/л), что согласуется с уровнями кальция и магния.

Употребление очень мягкой, физиологически несбалансированной по минеральному составу, ультрапресной воды может приводить к расстройству обменных процессов в организме и вызывать патологические реакции. Применение на постоянной основе в питьевых целях мягкой воды увеличивает риск формирования патологии со стороны органов кровообращения, желудочно-кишечного тракта, почек. На территориях с мягкой водой на 25–30 % больше распространены артериальная гипертензия (Горбачев, 2006). Согласно литературным данным, существуют отличия в заболеваемости сердечно-сосудистой системы и смертности в зависимости от региональных значений жесткости питьевой воды: отмечен их рост при уменьшении концентрации Ca^{2+} и Mg^{2+} (определяющих жесткость) в воде (Серпов и др., 2005; Кириллова и др., 2006). Дефицит магния может при-

водить к метаболическим синдромам, резистентности к инсулину, синдрому хронической усталости, нарушениям сердечного ритма, сна и др. (Шилов, 2013).

Патология костной системы и задержка роста, обусловленные нарушением процесса формирования костной ткани, часто сопряжены с низким содержанием в питьевой воде остеотропных элементов (Ca, Si, P). Считается, что пищевой дефицит остеогенных элементов характерен в основном в отношении кальция (Лукьянчиков, 2012). Согласно информации ВОЗ, остеопорозу принадлежит ведущее место в общем рейтинге медико-социальных проблем, переломы, являющиеся осложнением этого заболевания, оказывают отрицательное воздействие на качество и продолжительность жизни человека (Лесняк, 2017).

Считается, что подземные воды по сравнению с поверхностными водоисточниками обладают такими преимуществами как надежность, возможность более экономичной, легкой, качественной очистки. В тоже время препятствием к употреблению такой воды является присутствие повышенных уровней железа и марганца, которые придают воде цветность, вязущий или металлический вкус. Очень часто концентрация железа в подземных водах на Дальнем Востоке достигает повышенных значений равных 2530 мг/л и марганца — 0,7–1,5 мг/л (Ткаченко, Власенко, 2022).

Как отмечалось выше, г. Магадан характеризуется повышенным содержанием железа (уровень ПДК) в пробах питьевой воды, отобранных из системы централизованного водоснабжения. Такое содержание железа может быть объяснено наличием в воде его окислов, которые имеют техногенное происхождение (коррозионные процессы, протекающие в водоносных коммуникациях).

Длительное повышенное поступление железа способствует хронической перегрузке организма указанным элементом. Такая перегрузка может приводить к изменениям во внутренних органах, формированию гемохроматоза, который сопровождается накоплением железа в органах и тканях. Употребление питьевой воды с повышенным содержанием железа также может оказывать отрицательное воздействие на кожные покровы и слизистые оболочки, повреждать клетки эпителия, приводить к истончению кожи и атрофии эпидермиса, возникновению экземы (Темная, Завьялова, 2023).

Поступление железа в организм в количествах, значительно превышающих физиологические потребности, повышает риск развития эндокринных расстройств, может оказывать иммуносупрессивное влияние (фактор, способствующий развитию инфекционных, онкологических заболеваний) и увеличивать общую заболеваемость (Горбачев, 2021).

Из этого следует, что на территории г. Магадана повышенное содержание железа в питьевой воде — постоянный экологический фактор, который может оказывать отрицательное влияние на физиологические процессы в организме.

Более ранние исследования химического состава питьевой воды г. Магадана (Луговая, Степанова, 2016; Степанова, Луговая, 2023), а также проведенный нами анализ полученных данных свидетельствуют об отсутствии избыточных концентраций кремния. Интервал кремния в исследованных пробах равен 0,77–0,95 мг/г, что в пересчете на 1 л составляет около 1 мг химического элемента. Указанное значение сходно с минимальным содержанием в природной речной воде: кремний в речной воде чаще соответствует 1–20 мг/л; в подземной воде — 20–30 мг/л. Для сравнения, считается, что жители Европы с пищей и водой потребляют около 20–50 мг в день (Jugdaohsingh, 2007).

Роль кремния в биохимических процессах организма до конца не изучена, но отмечается, что этот элемент участвует в синтезе коллагена, процессах минерализации костной ткани, положительно влияет на кожу и ее придатки, важен при профилактике болезни Альцгеймера и атеросклероза (Рахманин и др., 2017). На долю питьевой воды и напитков приходится около 20 % кремния из общего количества, поступившего в организм (Jugdaohsingh, 2007; Robberecht et al., 2009).

Действующие в России нормативы (СанПиН 1.2.3685-21) устанавливают допустимую концентрацию кремния в питьевой воде на уровне 20 мг/л (25 мг/л при жесткости менее 3,5). Указанные величины исключают избыток кремния в пробах воды в г. Магадане. Учитывая среднесуточное потребление 1–3 л питьевой воды, в организм населения г. Магадана поступает кремния около 1–3 мг/сут. При этом считается, что потребность человека в этом элементе колеблется от 9–14 до 20–30 мг/сут, а оптимальное поступление равно 50–100 мг/день (Скальный и др., 2019; Киричук и др., 2020). Поступление в организм кремния менее 5 мг/сут повышает риск формирования его дефицита (Скальный и др., 2019).

В тоже время необходимо учитывать, что поступление кремния в организм с пищевыми продуктами может частично восполнять потребность в элементе, и все же дефицит кремния без обогащения им водно-пищевого рациона неизбежен.

Таким образом, проведенный нами анализ показал, что питьевая вода г. Магадана (водопроводная и родниковая) содержит низкие концентрации кремния, которые при отсутствии восполнения физиологических потребностей из других источников могут способствовать формированию дефицита этого элемента в организме.

Недостаток кремния может сопровождаться слабостью соединительной ткани (связки, хрящи, бронхолегочная система), повышенной хрупкостью костной ткани, склонностью к переломам, истончением, выпадением волос, воспалительным заболеваниями желудочно-кишечного тракта, преждевременным развитием атеросклероза, нарушением со стороны иммунной (аллергические реакции). Кальций может занимать место кремния в случае его дефицита. Это проявляется потерей эластичности сосудов, в дальнейшем, при прогрессировании процесса, происходит развитие заболеваний сердечно-сосудистой системы, атеросклероза.

Дополнительный прием кремния (например, в составе биологических добавок, воды, обогащенной кремнием) способствует восполнению его потребностей в организме и профилактике нарушений обменных процессов. В г. Магадане также может быть рекомендовано употребление морских водорослей (ламинарии), хвощей.

Содержание меди, цинка, свинца, кадмия во всех пробах, исследованных на базе ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Магаданской области» и в лаборатории Центра биотической медицины (г. Москва), не превысило установленных ПДК. Таким образом, г. Магадан является благоприятной территорией, свободной от загрязнения питьевой воды указанными тяжелыми металлами.

Выводы

Питьевая вода из распределительной сети централизованного водоснабжения имеет сходные черты с родниковой водой по химическим показателям. Значительных изменений химического состава воды в зависимости от времени года не выявлено, но отмечена тенденция повышения содержания марганца и кальция в пробах, отобранных зимой.

В тоже время результаты химического анализа питьевой воды (из системы централизованного водоснабжения и родников) указывают на ее физиологическую неполноценность. В большей мере это связано с низким содержанием кальция и магния.

Показатель жесткости в пробах воды не превышает гигиенический норматив, но может также свидетельствовать о пониженном поступлении кальция и магния в организм жителей г. Магадана. Недостаток этих элементов в организме необходимо восполнять с помощью пищевых продуктов и специальных добавок.

Отмечено пониженное содержание кремний в воде из источников централизованного водоснабжения и родников. Высказана рекомендация по дополнительному обогащению рациона питания этим элементом.

Питьевая вода из системы централизованного водоснабжения г. Магадана характеризуется повышенным содержанием железа (уровень ПДК), что повышает риск развития сопряженных с этим патологических состояний.

Длительное употребление такой воды в питьевых целях может способствовать возникновению элементозов, в частности остепороза (недостаток кремния, кальция), нарушений со стороны сердечно-сосудистой системы (недостаток магния), кожи и костной системы, формированию иммунорезистентности (избыток железа).

Содержание марганца, меди цинка, свинца, кадмия во всех пробах не превышало ПДК, что свидетельствует об отсутствии загрязнения питьевой воды указанными тяжелыми металлами и, соответственно, благоприятной экологической ситуации по ним в г. Магадане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
2. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости».
3. ГОСТ 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб»
4. Горбачев А.Л. Элементный статус населения в связи с химическим составом питьевой воды. Микроэлементы в медицине. 2006; 7(2): 11–24.
5. Горбачев А.Л. Влияние химического состава питьевой воды на здоровье населения г. Магадана // Микроэлементы в медицине. 2021. № 22 (2). С. 17–24.
6. Кириллова А.В., Доршакова Н.В., Дуданов И.П. 2006. К вопросу о патогенезе гипертонической болезни и ишемической болезни сердца при дефиците потребления кальция и магния в условиях Севера // Экология человека. 2006. № 1. С. 3–8.
7. Киричук А.А., Горбачев А.Л., Тармаева И.Ю. Биоэлементология как интегративное направление науки о жизни: монография. Под ред. А.В. Скального. М.: РУДН, 2020. 110 с.
8. Корчин В.И., Миняйло Л.А., Корчина Т.Я. Содержание химических элементов в водопроводной питьевой воде с различным уровнем очистки (на примере городов Ханты-Мансийского автономного округа) // Журнал медико-биологических исследований. 2018. № 6 (2). С. 188–197.
9. Лесняк О.М. Актуальные вопросы диагностики и лечения остеопороза у мужчин в амбулаторной практике // Российский семейный врач. 2017. № 21 (1). С. 39–44.
10. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Особенности состава питьевой воды Магадана и здоровья населения // Гигиена и санитария. 2016. № 95 (3). С. 241–246.

11. Степанова Е.М., Луговая Е.А. Содержание химических элементов в водопроводной воде и воде из родниковых питьевых источников разных районов Магаданской области // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. Т. 31. № 1. С. 118–125.
12. Никонова Р.А., Дрягина Д.Р Проблема загрязнения и качества питьевой воды // Вестник магистратуры. 2018. № 5-4 (80). С. 21–22.
13. Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Красовский Г.Н., Михайлова Р.И., Алексеева А.В. Кремний, его биологическое действие при энтеральном поступлении в организм и гигиеническое нормирование в питьевой воде. Обзор литературы // Гигиена и санитария. 2017. № 96 (5). С. 492–498.
14. Серпов В.Ю., Горшков Э.С., Иванов В.В., Храмов А.В. К вопросу о чувствительности артериальной системы к влиянию космофизических факторов в районах с различной жесткостью питьевой воды // Экология человека. 2005. № 11. С. 25–27.
15. Скальный А.В., Грабелкис А.Р., Скальная М.Г., Тармаева И.Ю., Киричук А.А. Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды: монография. Под. ред. В.Н. Ракитского, Ю.А. Рахманина. М.: РУДН, 2019. 339 с.
16. Темная Ю.А., Завьялова А.А. Влияние повышенного содержания железа в воде на население Московской области // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93–8. С. 122–124.
17. Ткаченко А.З., Власенко Т.А. Анализ состояния вопроса очистки подземных вод Дальнего Востока // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2022. № 1. С. 316–318.
18. Тулакин А.В., Цыплакова Г.В., Амплеева Г.П., Козырева О.Н., Пивнева О.С., Трухина Г.М. Региональные проблемы обеспечения гигиенической надежности питьевого водопользования // Гигиена и санитария. 2016. № 95 (11). С. 1025–1028.
19. Шилов А.М. Роль дефицита магния в сердечно-сосудистом континууме // Лечебное дело. 2013. № 4. С. 73–82.
20. Якубова И.Ш., Мельцер А.В., Ерастова Н.В., Базилевская Е.М. Гигиеническая оценка обеспечения населения Санкт-Петербурга безопасной, безвредной и физиологически полноценной питьевой водой // Гигиена и санитария. 2015. № 94 (4). С. 21–25.
21. Jugdaohsingh J. Silicon and bone health. J. Nutr. Health Aging. 2007. № 11 (2). P. 99–110.
22. Robberecht H., Van Cauwenbergh R., Van Vlaslaer V., Hermans N. Dietary silicon intake in Belgium: Sources, availability from foods, and human serum levels. Sci. Total. Environ. 2009. № 407 (16). P. 4777–4782.

© Похилюк Наталья Владимировна (natalis2686@mail.ru); Горбачев Анатолий Леонидович (gor000@mail.ru);

Киричук Анатолий Александрович (kirichuk-aa@rudn.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2023.9-2.24

КРИОКОНСЕРВАЦИЯ КАК СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

CRYOPRESERVATION AS A WAY TO PRESERVE AND MAINTAIN BIODIVERSITY

**E. Smirnova
R. Ivannikova
T. Zabolotskaya**

Summary. Currently, cryopreservation of sperm in liquid nitrogen is considered one of the promising ways to preserve the gene pool, as well as the genetic material of rare or even endangered animal species, and also makes it possible to cross animals located on different continents that need to be crossed, but there is no way to do it naturally.

Keywords: cryopreservation, artificial insemination, violation of the acrosome, biodiversity, gene pool.

Смирнова Екатерина Александровна

кандидат биологических наук, доцент, Московская Государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
e.smirnova.a@gmail.com

Иванникова Регина Фановна

кандидат биологических наук, доцент, Московская Государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
regiotf@yandex.ru

Заболоцкая Татьяна Витальевна

кандидат ветеринарных наук, доцент, Московская Государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Москва
t_zabolockaya@mail.ru

Аннотация. В настоящее время криоконсервация спермы в жидком азоте считается одним из перспективных способов сохранения генофонда, а также генетического материала редких или даже исчезающих видов животных, а также дает возможность скрещивать животных, находящихся на разных континентах, которых необходимо скрестить, но нет возможности сделать это естественным путем.

Ключевые слова: криоконсервация, искусственное оплодотворение, нарушение акросомы, биоразнообразие, генофонд.

Введение

Криоконсервация упрощает процесс скрещивания бельгийской бело-голубой породы, создается большая опасность нахождения ветеринаров вблизи скрещивающихся животных, поэтому искусственное осеменение криоконсервированной спермой отличный и единственный выход из опасной ситуации. Часто вес быка-производителя достигает 1200 кг, а то, что бык начинает чувствует запах самки и действовать инстинктивно, практически на 100 % снижает возможность ветеринаров сдерживать быка и контролировать осеменительный процесс. Но конечно же преимущество естественного осеменения в том, что сохраняются инстинктивные половые рефлексы. Выбор специалистов преимущественно падает на метод искусственного осеменения, поскольку именно таким образом возможен подбор пар родителей с высококачественными показателями, что дает возможность предупреждать инфекционные заболевания животного, а также специалисты утверждают, что таким образом возможно снизить затраты на выращивание и содержание быков-производителей.

Цель исследования

Оценить способ криоконсервации, как возможность сохранения генофонда и биоразнообразия.

Задачи

1. Оценить метод криоконсервации.
2. Сравнить метод ввоза животных и искусственное осеменение.

Сохранение биоразнообразия является одной из глобальных задач современного мира. Сохранение генетических ресурсов животных считается необходимым для поставки продовольствием, поскольку производство продовольствия представляется самой большой проблемой из-за роста населения, истощения природных ресурсов Земли и многих видов, находящихся под угрозой исчезновения.

Когда в страну ввозят животных, то для врачей нет большой сложности отследить их здоровье и качество семенной жидкости. Также перед экспортом из страны ветеринарные эксперты исследуют животных на заболевания, прописанные в двухстороннем соглашении между странами экспортера и импортера. Согласно единым ветеринарно-санитарным требованиям, сперма должна быть получена от животных, находящихся на благополучных территориях и исследована на определенные инфекции. На сперму страна-экспортер выдает сертификат, который свидетельствует о проведении

требуемых страной-импортером исследований. Здесь же существует противоречие, что сперма не включена в перечень товаров, который заранее должен пройти официальный контроль. Из чего следует, что сперма, полученная от зарубежных быков-производителей, карантинный контроль при пересечении границы РФ не проходит и свободно может вступить в товарооборот. Единственный контроль зарубежной спермопродукции, проводится по желанию торгующей организации на добровольных условиях. Часто такую сертификацию генетического материала проходят в коммерческих лабораториях, которые не отвечают за качество проделанных исследований, а отношение к экспертизе в большинстве случаев-халатное, что дает неимоверный рост заболеваниям различной этиологии в отечественных стадах путем искусственного осеменения инфицированной спермой. А также экспериментально ученые доказали, что хламидии токсично влияют на сперму и снижают ее биологические качества, что негативно сказывается на оплодотворяющей способности. Для сельского хозяйства особенно опасны хламидии, ведь частой причиной абортов являются именно хламидии, особенно во второй половине беременности. Также возможно другое течение, при рождении нежизнеспособного молодняка, во время родов и абортов идет повсеместное заражение остальных животных стада. По эпизоотическим данным хламидиозная инфекция несет в себе многообразие форм передачи инфекций и путей заноса возбудителя, длительное циркулирование хламидий в организме, что катастрофически ослабляет иммунитет, и животные становятся более восприимчивыми к другим различным штаммам возбудителя.

Эффективность трансплантации эмбрионов крупного рогатого скота во многом определяется условиями хранения зигот. Самым эффективным и перспективным методом консервации эмбрионов является их глубокое замораживание (криоконсервация) в жидком азоте при температуре -196 градусов. Разработка метода длительного хранения криоконсервированных эмбрионов значительно расширяет возможности трансплантации. Только в этом случае она может быть надежной биотехнологической основой селекционной программы.

Создание банков глубоководной спермы и разработка методов искусственного осеменения позволили существенно увеличить интенсивность отбора быков и повысить точность оценки их племенной ценности.

На базе интенсивного использования генетически ценных быков-производителей с применением искус-

ственного осеменения коров глубоководной спермой темпы селекции в популяции по сравнению с обычными увеличиваются в 2–3 раза.

В то же время генетический вклад в прогресс селекции матерей быков почти в два раза ниже вклада отцов быков. Это объясняется низкой интенсивностью селекции матерей быков и ненадежной оценкой их племенной ценности из-за получения небольшого числа потомков. Эти ограничения и призвана частично снять трансплантация эмбрионов. В настоящее время при использовании трансплантации эмбрионов от одной генетически ценной коровы можно получать двадцать телят, используя малоценных реципиентов. Таким образом, создание криобанка генофонда ценной флоры и фауны, что в будущем позволит:

- Сохранить генетическую информацию редких и исчезающих видов животных в течение десятилетий без утраты генетического стандарта.
- Транспортировать генетический материал в районы исчезновения или резкого сокращения численности для восстановления популяций вида.
- Обеспечить возможности для селекционно-генетических работ в сельскохозяйственных предприятиях региона.
- Регулярно корректировать технологии искусственного воспроизводства ценных биообъектов при нарастающем дефиците производителей редких и исчезающих видов животных и растений-эндемиков региона и элитных пород сельскохозяйственных животных.
- Проводить широкомасштабные научно-практические исследования по перспективным направлениям современной биологии и выполнению хозяйственных тематик, способствующих развитию сельскохозяйственных отраслей.

Заключение

В последнее время воздействия на биосферу усиливаются под влиянием как антропогенных, так и внешних космических факторов, они не всегда благоприятно сказываются на живых организмах. В результате отрицательных воздействий сужается диапазон биологического разнообразия, что зачастую приводит к снижению популяций. Поэтому проблема сохранения биологического разнообразия подразумевает сохранение как разнообразия, так и всего населения Земли.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев, Н.Я. Микробная загрязнённость спермы и оплодотворяемость / Н.Я. Алиев, А.И. Тараненко // Ветеринария. — 1976. — №7. — С. 81–84.
2. ГОСТ 26030-2015. Средства воспроизводства. Сперма быков замороженная. Технические условия [Текст]. — Введ. — 2016-07-01. — М.: Изд-во стандартов, 2016, 7 с.
3. Иммунология: учебник / А.А. Ярилин. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. с. 563.
4. Зверева, Г.В. Микробиологическая загрязнённость спермы быков при разных методах хранения / Г.В. Зверева // Молочное и мясное скотоводство. — 1966. — №7. — С. 56–61.
5. Методические указания. Ветеринарно-санитарный контроль качества замороженной спермы быков-производителей. Методы исследований физических, биологических свойств и морфофункциональный анализ качества криоконсервированной спермы. Москва — 2018. — С. 18–21.
6. Пантюхова, О.И. Микрофлора семени племенных животных /Повышение продуктивности сельскохозяйственных животных, производителей: Науч. тр. // Опытная станция животноводства. — Киев, 1961. — т. 7. — С. 95–97.
7. Пронин, Б.Г. Повышение эффективности контроля за состоянием воспроизводства стада / Б.Г. Пронин // Уч. записки КГАВМ. — 2008. — Т. 194. — С.119–123.
8. Решетникова, Н. Современное состояние и стратегия воспроизводства стада при повышении молочной продуктивности крупного рогатого скота / Н. Решетникова, Г. Ескин, Н. Комбарова, Е. Порошина, И. Шавырин // Молочное и мясное скотоводство. — 2012. — № 3. — С. 2–4; №4. — С.2.
9. Филиппов, Д.И. Оплодотворяющая способность семени импортного и отечественного производства, полученного от быков-производителей голштинской породы / Д.И. Филиппов, В.Г. Труфанов // Молочное и мясное Скотоводство. — 2015. — №8. — С.6–9
10. Althouse, G.C. Sanitary procedures for the production of extended semen / G.C. Althouse // *Reprod. Domest. Anim.* — 2008. -Vol. 43. — P. 374–378.
11. Chenoweth, P.J. Genetic sperm defects / P.J. Chenoweth // *Theriogenology*. — 2005. — Т. 64. — С. 457–468.
12. Hare, W.C.D. — Diseases transmissible by semen and embryo transfer techniques. Technical Series No. 4 / W.C.D. Hare // Office International des Epizooties. — Paris. — 1985. — 117 p.

© Смирнова Екатерина Александровна (e.smirnova.a@gmail.com); Иванникова Регина Фановна (regiotf@yandex.ru);

Заболоцкая Татьяна Витальевна (t_zabolockaya@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭНТОМОЦЕНОЗА ПОСЕВОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (НА ПРИМЕРЕ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

IMPACT OF ABIOTIC FACTORS FOR ENTOMOCENOSIS SPRING WHEAT CROPS (USING PAVLODAR REGION AS AN EXAMPLE)

R. Ualiyeva
Yu. Kanibolotskaya
V. Listkov
Yu. Kanushina
E. Abramova

Summary. A comparative analysis of the influence of abiotic factors on the species composition and the number of pests in spring wheat agrocenoses of the main grain growing areas of Pavlodar region was carried out, taking into account the agricultural technological techniques used. Phytosanitary monitoring was carried out in different parts of the region during the growing season of 2022 in typical agricultural organizations, according to different predecessors (pure steam, spring wheat, oilseed flax) on the example of varieties of foreign spring wheat (Likomero, Trizo, Uralosibirskaya, Omsk 35) and Kazakhstan selection (Kazakhstan 15). The main insect pest species identified during the study period are: *Haplothrips tritici*, *Phyllotreta vittula*, *Chaetonema aridula*, *Trigonotylus ruficornis*, *Schizaphis graminum*, *Psammotettix striatus* L.; their distribution as a whole in the areas under consideration and in different predecessors is uneven. All spring wheat fields studied were dominated by wheat trips (*Haplothrips tritici*). The formation of entomocenosis largely determined the climatic conditions of the growing season under consideration. Agricultural techniques used also had a significant impact on the species composition and number of pests. The findings make a significant contribution to the study of insect complexes found in wheat crops and provide comparative material for similar studies in other regions, including Russia.

Keywords: abiotic factors, insect pests, entomocenosis formation, plant stability, cultivation techniques, crop loss, phytosanitary situation in agrobiocenoses, protective measures.

Уалиева Римма Мейрамовна

Доктор философии (PhD), доцент,
 Торайгыров Университет (г. Павлодар)
 ualiyeva.r@gmail.com

Каниболоцкая Юлия Михайловна

Канд. биол. наук, доцент, Сибирский университет
 потребительской кооперации (г. Новосибирск)
 yu_leonova@mail.ru

Листков Вячеслав Юрьевич

Канд. с.-х. наук, доцент, Сибирский университет
 потребительской кооперации (г. Новосибирск)
 sirba78@yandex.ru

Канушина Юлия Александровна

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский университет
 потребительской кооперации (г. Новосибирск)
 kanushina80@mail.ru

Абрамова Елена Алексеевна

Канд. мед. наук, доцент, Сибирский университет
 потребительской кооперации (г. Новосибирск)
 elabr72@mail.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ влияния абиотических факторов на видовой состав и численность вредителей в агроценозах яровой пшеницы основных районов зерносеяния Павлодарской области с учетом используемых агротехнологических приемов. Фитосанитарный мониторинг осуществляли в разных частях области в течение вегетационного периода 2022 года в типичных сельскохозяйственных организациях, по разным предшественникам (чистый пар, яровая пшеница, лен масличный) на примере сортов яровой пшеницы иностранной (Ликомеро, Тризо, Уралосибирская, Омская 35) и казахстанской селекции (Казахстанская 15). Основные виды насекомых-вредителей, выявленные в период исследования: *Haplothrips tritici*, *Phyllotreta vittula*, *Chaetonema aridula*, *Trigonotylus ruficornis*, *Schizaphis graminum*, *Psammotettix striatus* L.; распределение их в целом по рассматриваемым районам и по разным предшественникам неравномерное. Во всех исследованных полях с яровой пшеницей доминировал пшеничный трипс (*Haplothrips tritici*). Формирование энтомоценоза во многом определили климатические условия рассматриваемого вегетационного периода. Значительное влияние на видовой состав и численность вредителей также оказали применяемые агротехнические приемы. Полученные данные вносят существенный вклад в изучение комплексов насекомых, обитающих в посевах пшеницы, и представляют сравнительный материал для аналогичных исследований в других регионах, в том числе, в России.

Ключевые слова: абиотические факторы, насекомые-вредители, формирование энтомоценозов, устойчивость растений, приемы возделывания культуры, потери урожая, фитосанитарная ситуация в агробиocenозах, защитные мероприятия.

Введение

Пшеница — одна из главных злаковых культур, возделываемая во всем мире и потребляемая примерно 35 % населения [1]. Это основной компонент (20–60 %) ежедневного рациона в большинстве развивающихся стран, поэтому необходимо постоянно повышать урожайность и объемы производства этой культуры, чтобы справиться с растущим спросом [2]. Процесс выращивания пшеницы довольно трудоемкий и значительно осложняется рядом факторов, в том числе — воздействием множества биотических и абиотических стрессов, что приводит к огромным экономическим потерям [3].

Самыми распространенными из насекомых-вредителей пшеницы являются пшеничные тли (Hemiptera: Aphididae), в том числе *Sitobion avenae*, *Schizaphis graminum*, *Rhopalosiphum padi* и *Metopolophium dirhodum* [4]. Основная часть насекомых, вызывающих потери семян, относится к отряду Coleoptera, а также к некоторым видам чешуекрылых, Diptera, Psocoptera, Hymenoptera и клещей [5]. Развитие и распространение их сдерживают такие факторы, как частое выпадение осадков, резкие перепады температур, прохладная и затяжная весна, а также предпосевная обработка семян инсектицидами и фунгицидами.

Для предотвращения потерь урожая яровой пшеницы от вредных организмов необходимо постоянное обновление информации о закономерностях формирования фитосанитарной ситуации в агробиоценозах, на основе которой планируются и организуются защитные мероприятия.

Для повышения устойчивости растений к поражению вредителями немаловажную роль играют правильно подобранные приемы возделывания культуры: предшественник, сорта и сроки посева. Одним из перспективных способов борьбы с вредными организмами является выбор сортов пшеницы, устойчивых к их влиянию, так как реакция на поражение вредителями различна: одни сорта резко снижают продуктивность, тогда как на других угнетение не выявляется. Кроме того, местные производители выбирают для посева не только сорта пшеницы, созданной в Казахстане, но и перспективные высокопродуктивные сорта иностранной селекции, которые не адаптированы к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям региона и к местным фитофагам, что, несомненно, требует дополнительного изучения.

Применение таких приемов агротехники, как севооборот и сроки посева, позволяют также эффективно воздействовать на условия обитания вредителей, тем самым сократить потери урожая и снижение его качества

от воздействия фитофагов. При этом влияние того или иного агротехнического приема в разных агроклиматических зонах будет проявляться неодинаково, поэтому выбирать приемы агротехники надо с учетом почвенно-климатических особенностей конкретного района, или даже отдельного хозяйства, принимая во внимание часто встречающиеся виды фитофагов пшеницы.

Защита растений является актуальной проблемой и нуждается в более прочном научном фундаменте с целью активизации долговременных механизмов саморегуляции фитосанитарного состояния агроэкосистем с использованием экологических законов и закономерностей, включая разработку системно-экологической основы мониторинга и прогноза актуальности фитофагов.

Целью исследований являлся сравнительный анализ влияния абиотических факторов на видовой состав и численность вредителей в агроценозах яровой пшеницы основных районов зерносеяния Павлодарской области с учетом используемых агротехнологических приемов.

Анализ литературных источников показал, что проблема защиты посевов пшеницы от фитофагов актуальна не только для Казахстана, но и для других стран, занимающихся производством этой культуры [1–18]. При этом методы борьбы подбирают в соответствии с безопасностью для живых организмов и особенностями климата конкретного региона.

Объекты и методы

Объектом исследований являлись различные почвенно-климатические условия, оказывающие влияние на фитофагов в агроценозах сортов яровой пшеницы с учетом агротехнологических приемов. Исследования проводили согласно общепринятым методикам учета вредителей в посевах зерновых культур.

Фитосанитарный мониторинг осуществляли в основных районах зерносеяния пшеницы в разных частях области (Железинский, Успенский, Иртышский), отличающихся климатическими условиями, геологическим строением, разнообразием почвенного покрова и соответственно — растительности; в течение вегетационного периода 2022 года в типичных сельскохозяйственных организациях указанных районов, по разным предшественникам (чистый пар, яровая пшеница, лен масличный).

Для изучения были отобраны сорта яровой пшеницы иностранной (Ликомеро, Тризо, Уралосибирская, Омская 35) и казахстанской селекции (Казахстанская 15).

В период исследований проводили фенологические наблюдения за этапами развития культуры, у пшеницы фиксировали следующие фазы: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, молочная, восковая и полная спелость зерна. За начало фазы принимали наступление ее у 10–15 % растений, а полную фазу — у 75 % растений от их общего числа на делянке.

Определяли биометрические показатели культуры перед уборкой с помощью линейки: высоту растений (от поверхности почвы до верхушки колоса), длину колоса, размеры зерна. Измерения проводили по диагонали делянки по 10 растений, на первой и третьей повторности.

Фиксировали метеорологические данные согласно информации местных метеостанций (с мая по август 2022 года): ежедневную максимальную, среднюю и минимальную температуру воздуха, количество осадков в сутки, максимальную, среднюю и минимальную относительную влажность воздуха в течение суток. Учет вредителей проводили количественными методами [19–20].

Определение относительно крупных и малоподвижных вредителей, обитающих на растениях и находящихся на почве, осуществляли на исследуемых площадках. Легкую рамку 50 см x 50 см накладывали на поверхность почвы и подсчитывали число особей, находящихся на растениях и упавших на почву (в пределах площади, ограниченной рамкой). Так учитывали вредную черепашку, хлебных жуков, хлебную жужелицу, гусениц лугового мотылька и многих других.

Для выявления вредителей, находящихся в верхнем ярусе травостоя, использовали метод кошения с помощью стандартного энтомологического сачка (диаметр обруча 30 см, глубина приемного мешка — 60 см, длина рукоятки — 1 м). Сачком без перерыва делали 10 взмахов по верхней части травостоя. После чего из него переносили содержимое улова и подсчитывали число насекомых. Делали по 10 серий взмахов, чтобы их суммарное число достигло 100 в нескольких местах исследуемого участка. Так учитывали пшеничного трипса, пшеничных мух, цикадок, хлебных блошек и многих других.

Учёт поврежденности растений хлебной полосатой блошкой проводили на каждом поле в 10 местах, методом осмотра 10 растений, оценивая степень объедения блошками поверхности листьев по пятибалльной шкале: от 0 до 5 % — 1 балл; свыше 5 % до 25 % — 2; до 50 % — 3 балла; до 75 % — 4; свыше 75 % до 100 % — 5 баллов.

Для уточнения видовой принадлежности обнаруженных насекомых использовали Определители насекомых [21].

Результаты и обсуждение

Анализ результатов фитомониторинга показал, что во всех исследуемых полях с яровой пшеницей доминировал пшеничный трипс (*Haplothrips tritici*). Вегетационный период 2022 года отличался высокими температурами воздуха: в мае максимальная температура воздуха доходила до +35+38 °С, отмечалось отсутствие осадков, количество дней с относительной влажностью воздуха ниже 30 % — 7–9, то есть месяц был засушливым. В июне максимальная температура воздуха оставалась на уровне +34+36 °С, осадки отмечались только во второй половине месяца, таким образом, из-за недостатка влаги у растений снижался тургор и сопротивляемость к повреждениям, что способствовало активному размножению и развитию трипса в посевах пшеницы.

При этом Иванцова Е.А., рассматривая условия Нижнего Поволжья, утверждает, что сухая жаркая погода летом способствует повышению численности пшеничного трипса в текущем году, но ускоренное развитие пшеницы сокращает продолжительность наживочного питания личинок и обрекают их значительную гибель зимой, поэтому на следующий год их численность снижается [22]. Учеными Саратовского аграрного университета было установлено, что с увеличением осадков до 10–15 мм численность пшеничных трипсов снижалась в два раза [23].

Для пшеничного трипса (*Haplothrips tritici*) в посевах пшеницы на исследуемых территориях характерна фенологическая адаптация, то есть тесная привязанность его жизненных циклов к фазам развития культуры. Первые имаго фитофага можно наблюдать уже в фазе начала выхода в трубку пшеницы на поле в Железинском районе (предшественник — чистый пар) — до 2–7 штук на 1 стебель, наибольшее количество трипсов отмечается в фазе колошения на поле Успенского района (предшественник — яровая пшеница) — до 10–15 штук на 1 колосе, так как культура в эту фазу больше всего подходит для размножения вида. Имаго скапливаются в основании листа, питаются соком растений, в местах питания появляются белесые пятна.

Личинки начинают отрождаться к фазе цветения и формирования зерновки. Молодые личинки сразу же приступают к питанию в цветковой части колоска под цветковыми чешуйками. Выбор места питания неслучаен, именно в цветковой части идет поток пластических веществ, формирующих зерновки. Интенсивность питания личинок увеличивается к фазе налива зерна и молочной спелости. В этот период жиры и белки в алейроновом слое находятся в эмульсионном состоянии и доступны для личинок. При наступлении начала восковой спелости зерна, когда начинается процесс превращения пластических веществ в запасные, часть личи-

нок прекращает питание и покидает колос. При питании личинок поврежденные цветки погибают и в колосе развивается череззерница, зерно формируется невыполненное, что приводит в дальнейшем к снижению урожайности (масса поврежденных зерен снижается от 1 до 14 %) и посевных качеств (лабораторной всхожести с 98 до 72 %). Установлено, что их вредоносность составляет 1,71 мг урожая с колоса от питания одной особи.

Также отмечались повреждения растений пшеницы на начальных стадиях развития хлебной полосатой блошкой (*Phyllotreta vittula*), особенно на поле Иртышского района (предшественник — яровая пшеница), что связано с ранним сроком посева — 5 мая. В условиях северо-востока Казахстана появление ранних всходов пшеницы совпадает с массовым выходом из зимовки жуков и заселением ими культуры. У всходов жуки повреждали вначале верхушки листьев, а затем всю листовую пластинку, что приводит их к засыханию и опадению, таким образом, снижается ассимиляционная поверхность листьев и продуктивность культуры. Посевы формируются частично изреженные и не выровненные по высоте, что сказывается на недоборе урожая зерна культуры. Кроме того, поврежденные растения становятся восприимчивыми к заболеваниям и менее устойчивыми к повреждениям злаковыми мухами. Степень повреждения растений зависит от местоположения посевов, чем ближе они расположены к местам обитания вредителя, тем она выше. Поскольку на полях после уборки культуры остается много растительных остатков (безотвальное рыхление), насекомые чаще всего зимуют под ними.

Наиболее опасна хлебная полосатая блошка (*Phyllotreta vittula*) в годы с ранневесенними засухами, что было характерно для вегетационного периода 2022 года.

Тимошенкова Т.А. в условиях степи Оренбургской области установила, что распространённость и вредоносность хлебной полосатой блошки определяют погодные условия периода всходов и кущения культуры. Низкий температурный фон способствовал снижению распространённости блошки почти в два раза в сравнении с годами с более жаркой погодой в этот период [24].

Численность большой стеблевой блошки (*Chaetonema aridula*) в целом по районам невелика, лишь на поле в Железинском районе (предшественник — чистый пар) их численность в фазе налива зерна составляла 63,7 %, что объясняется близостью к полям лесных колос и опушек, мест зимовки блошек. Фазы развития яровой пшеницы, при которой стеблевые блошки наносят ощутимый вред — в период кущения, выхода в трубку и колошение. Стебли, поврежденные личинками, не образуют колосьев, растения останавливаются

в росте, как результат — снижается урожайность. Повреждения в фазе колошения приводят к белоколосице и полеганию стеблей. В более поздние фазы развития пшеницы повреждения растений встречаются редко и существенно на объем урожая не влияют [25]. Вредоносность повреждений от стеблевой блошки усиливается в засушливые годы с теплой ранней весной, что связано с ранним выходом имаго с мест зимовки и летом их на всходы пшеницы.

Хлебный клопик (*Trigonotylus ruficornis*) благодаря своей пластичности встречается в большом количестве в посевах яровой пшеницы. Вредит в течение всей вегетации культуры, характерные повреждения — обесцвечивание мест прокола клопика, так как он высасывает клеточный сок растений, что приводит к уменьшению ассимиляционной ткани и деформации зерна [26]. Вредоносность клопиков усиливается в засушливые годы, когда посевы пшеницы ослаблены из-за дефицита влаги и высоких температур воздуха. Погодные условия мая и летних месяцев 2022 года в целом по области были засушливыми, что способствовало увеличению численности хлебных клопиков, наибольшей в период созревания зерна.

В период наблюдений в посевах пшеницы обнаружена обыкновенная злаковая тля (*Schizaphis graminum*), представляющая большую опасность для посевов пшеницы, поскольку за короткий период заселяет листья и колосья многочисленными колониями; питаясь клеточным соком, значительно снижает урожай. Тля относится к немигрирующим видам, развитие происходит без смены кормовых растений, полностью на листьях злаковых культур. Вредоносность ее увеличивается в засушливые годы (при пониженной влажности воздуха), так как из-за недостатка влаги у растений снижен тургор и сопротивляемость к повреждениям. Погодные условия вегетационного периода 2022 года способствовали увеличению численности тли в июле-августе, особенно заметен рост был с фазы колошения до полной спелости зерна в Успенском районе, причем в этот период тля питалась на отстающих в развитии растениях.

Полосатая цикадка (*Psammotettix striatus* L.) трофически тесно связана со злаковой растительностью. Численность ее возрастает в первой половине лета, в период кущения и выхода в трубку пшеницы; в период формирования и созревания зерна количество цикадок тоже велико. Наносят вред как имаго, так и личинки, питаясь клеточным соком листьев и стеблей, в местах укусов появляются белесоватые пятна, придающие поврежденным органам мраморную окраску.

Оценка биометрических показателей культуры и состояния посевов показала, что растения в фазе полной спелости зерна сорта пшеницы Тризо как в Успенском

(поле, где предшественник — яровая пшеница), так и в Иртышском районах (аналогичный предшественник) были низкорослые, колос небольшого размера, зерно мелкое, щуплое; остальные сорта имели чуть лучшие показатели по биометрии растений и по массе зерна.

Считаем, что это больше связано со сроками посева культуры, так как сорт Тризо высевался раньше, пока в почве достаточно влаги после снеготаяния, так как в рассматриваемом регионе это основной лимитирующий фактор — 28 апреля и 5 мая. Однако май отличался более высокими температурами воздуха и отсутствием атмосферных осадков, что привело к замедлению роста культуры, плохой кустистости и формированию слабой вторичной корневой системы, что в дальнейшем и отразилось на продуктивности пшеницы.

Для сорта Тризо также характерны замедление развития после появления проростков, пониженное усвоение у корневой системы, изреженность всходов при недостатке влаги в верхнем слое почвы, возможность сильного повреждения шведской мухой, проволочниками и блошками; все эти факторы также могли способствовать снижению продуктивности культуры в неблагоприятных условиях вегетационного периода.

Остальные исследуемые сорта пшеницы высевались с 15 по 24 мая, в оптимально рекомендованные научными учреждениями региона сроки, тем самым наиболее уязвимые фазы культуры попали под летний максимум осадков, характерный для третьей декады июня в условиях северо-востока Казахстана, что позволило культуре нормально развиваться.

Для сорта Ликомеро характерно быстрое развитие растений на начальных этапах роста, большое число зерновок и масса тысячи семян, хорошо переносит ранневесенние заморозки, но может поражаться грибными заболеваниями. В условиях региона при недостатке влаги в почве важным момент при выращивании данного сорта является своевременное проведение полевых работ, направленных на накопление и рациональное использование почвенной влаги.

В условиях поля Железинского района (предшественник — яровая пшеница) растения сорта Уралосибирская сформировали хороший стеблестой и оптимальные параметры качества зерна, видимо, это связано с высокой адаптационной способностью сорта к неблагоприятным погодным условиям региона. В посевах данного сорта отмечается большее количество пшеничного трипса и пшеничных мух (*Thrips fabae*, *Chlorops pumilionis*), так как посев пшеницы был прямой по стерневому фону пшеницы прошлого года; в связи с зимовкой данных видов в корневых и растительных остатках растений, в этом вегетационном году отмечалось их увеличение

по данному предшественнику, в сравнении с предшественником чистый пар на поле Железинского района.

При этом в Успенском районе наблюдается обратная картина: в поле в посевах пшеницы сорта Омская 35 по предшественнику чистый пар отмечается большее заселение фитофагами зерновых, хотя на поле мало растительных остатков и соломы; кроме этого, последняя основная обработка в пару проводится на большую глубину, что ухудшает условия зимовки для трипсов, чем по предшественнику яровая пшеница, где насекомые могут зимовать в соломе и стерне дополнительно. Возможно, это связано с тем, что растения культуры по чистому пару формируют (в связи с благоприятными условиями, созданными по данному предшественнику) большую надземную массу и потому более привлекательны для насекомых.

Сорт Казахстанская 15 выведен местными селекционерами и хорошо адаптирован к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям региона, что позволяет при оптимальном сроке посева получить хороший урожай качественного зерна. В целом по предшественнику лен масличный значительного превышения фитофагов зерновых по фазам развития культуры не наблюдалось (Иртышский район).

Заключение

Сравнительный анализ разных сортов пшеницы, сроков посева и предшествующих культур показал, что эти приемы оказывают большое влияние на видовой состав и численность вредителей яровой пшеницы. Кроме этого, климатические условия вегетационного периода 2022 года во многом определили преобладание тех видов вредителей, для которых засушливые условия периода исследования были благоприятными для размножения и питания. Высокие температуры воздуха и недостаток влаги в почве в рассматриваемый период привели к снижению тургора у растений и их сопротивляемости повреждениям.

Растения пшеницы сорта Тризо при раннем сроке посева попали под влияние указанных факторов на начальном этапе развития, что привело к задержке их роста и сделало более восприимчивыми к воздействию вредителей. Остальные сорта высевались в оптимально рекомендованные научными учреждениями региона сроки (15–24 мая), тем самым наиболее уязвимые фазы культуры попали под летний максимум осадков, характерный для третьей декады июня в условиях Павлодарской области, что позволило культуре нормально развиваться.

Интенсивное развитие сельского хозяйства, выраженное в применении новых технологических схем вы-

ращивания пшеницы, посеве сортов иностранной селекции, ранее не возделываемых в местных условиях, изменение климата способствуют осуществлению в агроценозах активных процессов по формированию новых пищевых связей. Тем самым повышается актуальность проведения оценки фитофагов с учетом экологических подходов и применяемых приемов. Знание механизмов динамики численности и особенностей видового состава вредителей пшеницы, их взаимоотношений с культурой, комплексное влияние на них агротехнологических приемов создают условия для создания научно-обоснованной системы защиты пшеницы и разработки эффективных прогнозов размножения фитофагов.

Полученные данные вносят существенный вклад в изучение комплексов насекомых, обитающих в посевах культуры, и представляют сравнительный материал для аналогичных исследований в других регионах, в том числе и РФ.

Знание основных фитофагов культуры и их вредоносность в уязвимые фазы вегетации пшеницы помогут целенаправленно организовывать защитные мероприятия с учетом численности конкретного вида, и применять эффективнее агротехнологические приемы в технологии возделывания с целью уменьшения численности фитофагов.

ЛИТЕРАТУРА

- Gaur N., Mogalapu S. Pests of Wheat // Pests and Their Management. — Singapore, Springer, 2018. — P. 81–97. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_4
- Randhawa M.S., Bhavani S., Singh P.K., Huerta-Espino J., Singh R.P. Disease Resistance in Wheat: Present Status and Future Prospects // Disease Resistance in Crop Plants. — Cham: Springer, 2019. — P. 61–81. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20728-1_4
- Kashyap P.L., Kumar S., Jasrotia P., Singh D.P., Singh G.P. Nanotechnology in Wheat Production and Protection // Environmental Nanotechnology. — Cham: Springer, 2020. — Vol. 32. — P. 165–194. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26668-4_5
- Liu Y., Liu J., Zhou H., Chen J. Enhancement of Natural Control Function for Aphids by Intercropping and Infochemical Releasers in Wheat Ecosystem // Integrative Biological Control. Progress in Biological Control. — Cham: Springer, 2020. — Vol 20. — P. 85–116. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44838-7_6
- Rezaei M., Talebi A.A. Insect Pest Management for Healthy Seed Production // Advances in Seed Production and Management. — Singapore : Springer, 2020. — P. 211–269. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_11
- Kumar B., Omkar O. Insect Pest Management // Pests and Their Management. — Singapore: Springer, 2018. — P. 1015–1078. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_27
- Sharma S., Kooner R., Arora R. Insect Pests and Crop Losses // Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture. — Singapore: Springer, 2017. — P. 45–66. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4_2
- Razaq M., Shah F.M., Ahmad S., Afzal M. Pest Management for Agronomic Crops // Agronomic Crops. — Singapore: Springer, 2019. — P. 365–384. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_18
- Шаталина Л.П., Анисимов Ю.П., Калюжина Е.Л. Ассоциации сорных растений в агрофитоценозах яровой пшеницы // Российская сельскохозяйственная наука. — Оренбург, 2020. — № 2. — С. 25–29. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-2-25-29>
- Скороходов В.Ю., Зоров А.А. Особенности влияния парового поля на формирование агроценоза и продуктивность яровой пшеницы в полевых севооборотах региона с неустойчивым увлажнением // Российская сельскохозяйственная наука. — Оренбург, 2021. — № 5. — С. 3–8. <https://doi.org/10.31857/S250026272105001X>
- Лосева В.А., Темирбекова С.К., Новикова Л.Ю., Брыкова А.Н., Кудрявцева Е.Ю., Зуев Е.В. Результаты полевого изучения образцов яровой мягкой пшеницы из новейших поступлений в коллекцию ВИР в условиях Центрально-Черноземного региона РФ // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. — Москва, 2021. — № 5. — С. 4–10. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/5/4-10>
- Omkar, Tripathi A.K. Sucking Pests of Cereals // Sucking Pests of Crops. — Singapore: Springer, 2020. — P. 3–53. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6149-8_1
- Agrawal S., Panwar R., Kumar A., Singh I.K., Singh A. Seed-Infesting Pests and Its Control Strategies // Advances in Seed Production and Management. — Singapore: Springer, 2020. — P. 161–183. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_8
- Динасилов А.С., Мухамадиев Н.С. и Сарсенбаева Г.Б. Мониторинг и защитные мероприятия против основных вредителей сельскохозяйственных культур (соя, кукуруза, ячмень, пшеница) на полях ТОО «Agropark Ontustik» // Тенденции развития науки и образования. — Самара, 2019. — № 56-12. — С. 11–14. <https://doi.org/10.18411/lj-11-2019-258>
- Ali S.A., Tedone L., De Mastro G. Climate Variability Impact on Wheat Production in Europe: Adaptation and Mitigation Strategies // Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability. — Cham: Springer, 2017. — P. 251–321. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32059-5_12
- Khan S.M., Ali S., Nawaz A., Bukhari S.A.H., Ejaz S., Ahmad S. Integrated Pest and Disease Management for Better Agronomic Crop Production // Agronomic Crops. — Singapore: Springer, 2019. — P. 385–428. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_19
- Fanadzo M., Dalicuba M., Dube E. Application of Conservation Agriculture Principles for the Management of Field Crops Pests // Sustainable Agriculture Reviews. — Cham: Springer, 2018. — Vol 28. — P. 125–152. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_4
- Tripathi A.K. Pests of Stored Grains // Pests and Their Management. — Singapore: Springer, 2018. — P. 311–359. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_10
- Поляков И.Я. Прогноз развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур / И.Я. Поляков, М.П. Персов, В.А. Смирнов. — Л.: Колос, 1984. — 318 с.
- Москвичев А.Ю. Фитосанитарный контроль растений: учебное пособие / А.Ю. Москвичев, Т.Л. Карпова, Т.В. Константинова, И.А. Корженко, А.С. Межевова. — Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015. — 132 с.

21. Артохин К.С. Вредители сельскохозяйственных культур. Том I. Вредители зерновых культур — М.: Печатный город», 2013. — 532 с.
22. Иванцова Е.А. Биология развития и вредоносность пшеничного трипса (*Haplothrips tritici kurd*) в Нижнем Поволжье / Е.А. Иванцова // Известия ниже-волжского агроуниверситетского комплекса. — 2007. — № 1 (5). — 4 с.
23. Чекмарева Л.И. Фитофаги в агроценозе яровой пшеницы Саратовского Поволжья / Л.И. Чекмарева, С.И. Лихацкая // Нива Поволжья. — 2009. — № 2 (11). — С. 27–31
24. Тимошенкова Т.А. Оценка селекционного материала яровой твердой пшеницы на устойчивость к вредителям в степи Оренбургской области / Т.А. Тимошенкова // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. — 2018. — № 4. — 8 с.
25. Фисечко Р.Н. Влияние сортов и азотного удобрения на популяции хлебных стеблевых блошек в агроценозах яровой пшеницы в лесостепи Приобья // Сборник научных докладов XVII международной научно-практической конференции «Аграрная наука — сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Болгарии» г. Новосибирск, 13 ноября 2014 г. Часть 1. — Новосибирск, 2014. — С. 145–146.
26. Справочник по защите растений / Под ред. А.О. Сагитова, Ж.Д. Исмухамбетова. — Алматы: РОНД, 2004. — 320 с.

© Уалиева Римма Мейрамовна (ualiyeva.r@gmail.com); Каниболоцкая Юлия Михайловна (yu_leonova@mail.ru);
Листков Вячеслав Юрьевич (sirba78@yandex.ru); Канушина Юлия Александровна (kanushina80@mail.ru); Абрамова Елена Алексеевна (elabr72@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЛИЯНИЕ МУТАЦИЙ В НОВЫХ ШТАММАХ SARS-COV-2 НА ПАТОГЕННОСТЬ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ COVID-19

Черткова Майя Гивиевна

Доцент, Северо-Осетинская государственная
медицинская академия
dosticmai@yandex.ru

IMPACT OF MUTATIONS IN NEW SARS-COV-2 STRAINS ON THE PATHOGENICITY AND SPREAD OF COVID-19

M. Chertkoeva

Summary. In 2020, the world is facing a global Covid-19 pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus. During this time, the virus has undergone many mutations, leading to the appearance of various strains. COVID-19 caused by the SARS-CoV-2 coronavirus has become a global pandemic, it is extremely important to study the pathological changes caused by this virus. A comparative analysis of the literature has shown that clinical and morphological changes in internal organs in COVID-19 have some similarities and differences in Russia and abroad. According to research data, pathological changes in the lungs are the main sign of COVID-19 in both cases. Characteristic morphological changes in the lungs include diffuse damage to alveolar structures, the formation of hyaline membranes, fibrosis and thrombosis of small vessels. Thus, the new coronavirus infection is characterized by high transmissibility, rapid transmission of the virus from one patient to those in contact with him. In this regard, the rate of increase in incidence remains the subject of special attention and research aimed at identifying factors, including the impact of mutations in new strains of SARS-CoV-2, that may influence the pathogenicity and spread of Covid-19. Several years after the global SARS epidemic, the current SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic has served as a reminder of how new pathogens can quickly emerge and spread through populations and ultimately cause serious public health crises. Prevention and surveillance programs play a key role in controlling infections of all kinds.

Keywords: respiratory viral infection, pathogenicity, SARS-CoV-2, virology, microbiology.

Аннотация. В 2020 году мир столкнулся с глобальной пандемией Covid-19, вызванной вирусом SARS-CoV-2. В течение этого времени вирус претерпел множество мутаций, приводящих к появлению различных штаммов. COVID-19, вызванное коронавирусом SARS-CoV-2, стало глобальной пандемией, исключительно важно изучить патологические изменения, вызванные этим вирусом. Сравнительный анализ литературы показал, что клинические и морфологические изменения внутренних органов при COVID-19 имеют некоторые сходства и различия в России и за рубежом. Согласно данным исследований, патологические изменения в легких являются основным признаком COVID-19 в обоих случаях. Характерные морфологические изменения в легких включают диффузное повреждение альвеолярных структур, образование гиалиновых мембран, фиброз и тромбоз малых сосудов. Таким образом, для новой коронавирусной инфекции характерна высокая трансмиссивность, быстрая передача вируса от одного заболевшего к контактирующим с ним лицам. В связи с этим темпы роста заболеваемости остаются объектом особого внимания и исследований, направленных на выявление факторов, включая влияние мутаций в новых штаммах SARS-CoV-2, которые могут влиять на патогенность и распространение Covid-19. Спустя несколько лет после глобальной эпидемии атипичной пневмонии нынешняя пандемия SARS-CoV-2/COVID-19 послужила напоминанием о том, как новые патогены могут быстро появляться и распространяться среди населения и в конечном итоге вызывать серьезные кризисы в области общественного здравоохранения. Программы профилактики и эпиднадзора играют ключевую роль в сдерживании любого рода инфекций.

Ключевые слова: респираторная вирусная инфекция, патогенность, SARS-CoV-2, вирусология, микробиология.

Введение

В 2020 году мир столкнулся с глобальной пандемией COVID-19, вызванной вирусом SARS-CoV-2. В течение этого времени вирус претерпел множество мутаций, приводящих к появлению различных штаммов. COVID-19, вызванное коронавирусом SARS-CoV-2, стало глобальной пандемией, исключительно важно изучить патологические изменения, вызванные этим вирусом. Клинико-морфологический анализ внутренних органов играет ключевую роль в понимании патогенеза и влияния COVID-19 на различные системы организма. В данном обзоре мы рассмотрим последние исследования, посвященные клинико-морфологическому анализу изменений внутренних органов при COVID-19 и влияние

мутаций в новых штаммах SARS-CoV-2 на патогенность и распространение COVID-19.

Патологические изменения в легких: Исследования показывают, что COVID-19 вызывает развитие различных патологических изменений в легких, включая диффузный альвеолярный повреждения (DAD), фиброз, организацию и тромбоз сосудов [1]. Клинико-морфологический анализ выявил наличие гиалиновых мембран и гиалиновых тромбов, заполнение альвеолярных полостей эритроцитами и фибрином, а также повреждение эпителиальных клеток. Особое внимание следует обратить на вовлечение капиллярной сети и тромбоз сосудов, что может объяснить развитие острой респираторной недостаточности у пациентов с COVID-19 [2].

Влияние на сердце: Иммунологические и воспалительные процессы, вызванные COVID-19, могут приводить к сердечным осложнениям. Клинико-морфологический анализ сердца у пациентов с COVID-19 выявил наличие воспаления миокарда, интерстициального отека, нарушения микроциркуляции и даже некроза миокарда. Эти изменения могут быть связаны с развитием миокардита и дилатационной кардиомиопатии [3,4,5].

Поражение почек: COVID-19 может вызывать различные почечные осложнения, включая острый повреждение почек и развитие ацидоза.

Клинико-морфологический анализ показывает, что у пациентов с COVID-19 наблюдается повреждение почечных клубочков, воспаление интерстициальной ткани, отек и некроз эпителиальных клеток. Также отмечается образование тромбов в почечных сосудах. Эти изменения свидетельствуют о развитии острой почечной недостаточности и требуют специфического вмешательства и лечения [6,7].

Воздействие на печень: Исследования показывают, что COVID-19 может вызывать различные патологические изменения в печени. Клинико-морфологический анализ выявляет воспаление портальных и центральных вен, деструкцию гепатоцитов и наличие инфильтрации иммунных клеток в паренхиме печени. Эти изменения указывают на развитие гепатита и некроза печеночных клеток у пациентов с COVID-19 [8, 9].

Влияние на нервную систему: Некоторые пациенты с COVID-19 испытывают неврологические симптомы, исследования показывают наличие патологических изменений в нервной системе. Клинико-морфологический анализ выявляет наличие воспаления, глиальной активации, дегенерации нейронов и демиелинизации в различных областях головного мозга. Эти изменения могут объяснить неврологические симптомы и осложнения у пациентов с COVID-19 [10,11,12].

Сравнительный анализ литературы показал, что клинические и морфологические изменения внутренних органов при COVID-19 имеют некоторые сходства и различия в России и за рубежом. Согласно данным исследований, патологические изменения в легких являются основным признаком COVID-19 в обоих случаях. Характерные морфологические изменения в легких включают диффузное повреждение альвеолярных структур, образование гиалиновых мембран, фиброз и тромбоз малых сосудов [13].

Анализ случаев заболеваемости коронавирусами, гриппом и атипичной пневмонией беременных женщин и исхода этих беременностей, происшедших при предыдущих эпидемиях, позволяет сделать

некоторые предположения о вероятных осложнениях, которые может вызвать заражение беременной женщины новой коронавирусной инфекцией (Zaigham M., Andersson O., 2020). Так, при эпидемии атипичной пневмонии в 2002 году, вызванной вирусом SARS-Cov, наблюдалось значительное количество осложнений течения беременности у зараженных пациенток, увеличение частоты преждевременных родов и самопроизвольных аборт на фоне заболевания. По данным S.Wong, K.Chow et al., в 2020 году более половины беременных женщин, зараженных SARS-Cov и имеющих симптомы тяжелого течения ОРВИ, нуждались в интенсивной терапии, около трети всех пациенток — в проведении ИВЛ. Уровень смертности беременных женщин в период эпидемии достиг 25 % (Yan J., Guo J., Fan C. et al., 2020). При этом течение ОРВИ было значительно тяжелее у беременных женщин, чем у небеременных.

В период эпидемии 2012 года на Ближнем Востоке, вызванной коронавирусом MERS-Cov, наблюдалось увеличение количества летальных исходов, и было установлено, что указанный вирус вызывает быстрое формирование дыхательной недостаточности по сравнению с SARS-Cov. Однако и в том, и в другом случае эпидемии данные о вертикальном способе передачи вируса от зараженной матери плоду зафиксированы не были (Allotey J., Stallings E., Bonet M. et al., 2020).

На данный момент представлен ряд исследований, связанных с изучением влияния новой коронавирусной инфекции на течение беременности. Одни из первых исследований были проведены в Китае, в них приняли участие 69 беременных пациенток, зараженных вирусом SARS-Cov-2 преимущественно в третьем триместре беременности. В большинстве случаев наблюдались легкие или умеренные симптомы течения ОРВИ, только трое из всего числа зараженных женщин потребовалась интенсивная терапия (Allotey J., Stallings E., Bonet M. et al., 2020; Woodworth K. R., Olsen E. O., Neelam V. et al., 2020).

В исследовании, проведенном специалистами из Китая и Всемирной организации здравоохранения в 2019 году, приняли участие 147 беременных пациенток. Среди них было 64 женщины с подтвержденным заражением вирусом Covid-19, 82 женщины — с подозрением на заражение и одна пациентка — с бессимптомным течением болезни. В результате исследования было установлено, что только в 8 % случаев заболевание протекало в тяжелой форме, у 1 % наблюдалось критически тяжелое состояние, сопровождающееся полиорганной недостаточностью. В большинстве же случаев (91 %) наблюдалось легкое или умеренное течение заболевания без формирования тяжелой формы течения инфекции. При этом был сделан вывод о том, что достаточно большое количество беременных женщин, у которых заболевание могло протекать в легкой или бессимптомной

форме, могли быть не включены в проводимое исследование (Allotey J., Stallings E., Bonet M. et al., 2020).

Во время беременности возникает естественное состояние иммунологической толерантности, создающее предрасположенность к респираторным вирусным инфекциям. В связи с физиологическими изменениями в иммунной и сердечно-легочной системе у беременных женщин повышена вероятность тяжелого течения респираторных вирусных инфекций. Несмотря на окончание пандемии, объявленной Всемирной организацией здравоохранения, остаются вполне обоснованными исследования, посвященные влиянию вируса COVID-19 на течение беременности, учитывая вполне ожидаемые в будущем эпидемии вирусных заболеваний.

Таким образом, сбор информации о течении COVID-19 на фоне беременности, влиянии заболевания на мать и плод, эффективности и побочном воздействии назначаемого при COVID-19 лечения, является безусловно актуальным, т. к. до сегодняшнего дня рекомендации по ведению беременных с COVID-19 имеют недостаточно высокий уровень доказательности. Поиск эффективных методов профилактики гестационных и перинатальных осложнений при НКИ COVID-19 должен способствовать совершенствованию принципов ведения беременности у заболевших женщин.

Однако некоторые различия в клинических и морфологических особенностях замечены между исследованиями, проведенными в России и за рубежом. Например, исследования, проведенные в России, указывают на высокую частоту вовлечения сердца при COVID-19. Отмечается наличие морфологических изменений в миокарде, таких как нарушения цитоплазматических структур и фиброзные изменения, что может объяснять развитие кардиомиопатии у некоторых пациентов.

В других исследованиях, проведенных за рубежом, установлено, что COVID-19 может вызывать сосудистые изменения в различных органах, включая легкие, сердце, почки и печень. Наблюдаются микротромбозы и воспалительные изменения в сосудах, что может приводить к нарушению кровообращения и органной недостаточности [14].

Также было отмечено, что у некоторых пациентов с COVID-19 наблюдаются повреждения почек, выраженные в виде гломерулонефрита и тубулоинтерстициального поражения. Это может быть связано с прямым воздействием вируса на почечные клетки и/или иммунологическими реакциями.

Следует отметить, что данные о клинических и морфологических изменениях при COVID-19 постоянно обновляются, и дальнейшие исследования необходимы для полного понимания патогенеза этой инфекции.

Коронавирус SARS-Cov вызвал вспышку заболевания ОРВИ, сопровождаемую тяжелым острым респираторным синдромом в Китае в 2002 году. Коронавирус MERS-Cov стал причиной вспышки тяжелых ОРВИ на Ближнем Востоке в 2012 году [15,16]. Нынешняя вспышка заболевания новой коронавирусной инфекцией, вызванная коронавирусом SARS-Cov-2 возникла в Китае в 2019 году и к настоящему моменту получила широкое распространение по всему миру, не смотря на предпринимаемые повсеместно меры защиты населения разных стран.

Таблица 1.

Эпидемиологическое сравнение респираторных вирусных инфекций

Заболевание	Грипп	SARS	MERS	COVID-19
Безвредный патоген	Вирус гриппа	SARS-Cov	MERS-Cov	SARS-Cov-2
Базовое репродуктивное число	1.3	3	0.3–0.8	2.0–2.5
Показатель летальности	0.05–0.1%	9.6–11 %	34.4 %	3.4%
Время инкубации	1–4 дня	2–7 дней	6 дней	4–14 дней
Частота госпитализации	2 %	В большинстве случаев	В большинстве случаев	19%
Ежегодное заражение	1 млрд чел.	8098 (2003 г.)	420	продолжается
Ежегодная смертность	Более 100 000 чел.	Нет с 2003 г.	Нет с 2014 г.	продолжается

Инкубационный период заболевания находится в диапазоне 1–14 дней и в среднем составляет 5 дней. Передача инфекции осуществляется воздушно-капельным, контактным и воздушно-пылевым путями. Тяжесть течения заболевания и выраженность ведущих симптомов варьируется от бессимптомного течения до тяжелой дыхательной недостаточности.

Уже известно, что вирус SARS-Cov-2 содержит четыре ключевых структурных белка: нуклеокапсидный (N), спайковый (S), малый мембранный белок (SM), мембранный гликопротеин (M). Спайковый белок включает две единицы (S1 и S2), в целом этот белок необходим вирусу для слияния с клеткой-хозяином путем взаимодействия с рецептор-связывающим донором. S1 определяет клеточный тропизм, S2 опосредует слияние вирус-клеточной мембраны. После слияния вирусная РНК высвобождается в цитоплазму клетки, где и происходит репликация вируса. Вновь образованные зародыши вируса сливаются с плазматической мембраной через вирион содержащие пузырьки для последующего высвобождения вируса [17,18].

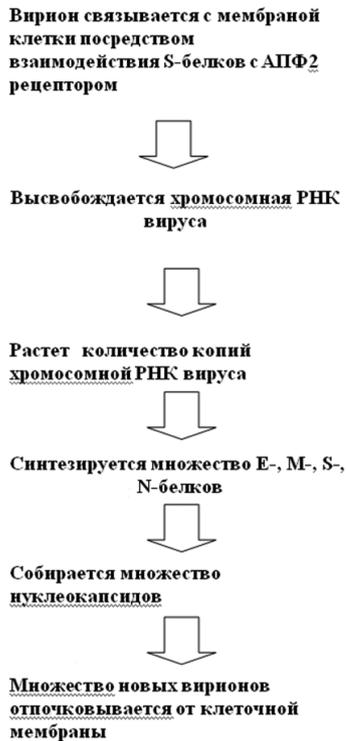


Рис. 1. Предполагаемый репродуктивный цикл вируса SARS-Cov-2

Ангиотензинпревращающий фермент 2 (АПФ2) является основным рецептором SARS-Cov-2 и провоцирует возникновение острых респираторных симптомов. По изученным данным рецептор АПФ 2 типа расположен на поверхности клеток различных органов человека, в первую очередь органов дыхания, пищевода, сердца, головного мозга (гипоталамуса и гипофиза), надпочечников, мочевого пузыря, а также эндотелия и макрофагов. Поэтому органами мишенями при поражении организма вирусом SARS-Cov-2 являются легкие, т.к. происходит поражение альвеолярных клеток 2 типа и на этом фоне развитие диффузного альвеолярного повреждения. В ряде случаев вирус поражает клетки эпителия желудка и кишечника, что провоцирует развитие катарального гастроэнтероколита и вызывает появление таких симптомов как рвота или диарея.

Основные симптомы заболевания соответствуют клиническим симптомам острой респираторной вирусной инфекции и чаще всего включают: повышение температуры тела, лихорадку, сухой кашель или кашель с небольшим количеством мокроты, появление выраженной астении и повышенную утомляемость, одышку. Зачастую также отмечаются снижение или полное исчезновение обонятельной (гипосмия и anosmia) и вкусовой (гипогизия и агизия) чувствительности, насморк, боль в горле, конъюнктивит. Реже проявляются такие симптомы как миалгия, головная боль, диарея, рвота, тахикардия, спутанность сознания. Значительная часть заболевших новой коронавирусной инфекцией переносят заболевание

бессимптомно. Факторами, отягчающими протекание инфекционного заболевания, являются возраст пациента (чаще тяжелая форма течения болезни наблюдается у людей старше 60 лет), а также у пациентов, имеющих такие хронические заболевания как артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, цереброваскулярные заболевания, хроническая обструктивная болезнь легких, почечная дисфункция и сахарный диабет. При этом подтвержденных данных о более тяжелом течении заболевания Covid-19 беременными женщинами по сравнению с небеременными инфицированными нет.

Таксономия и происхождение коронавирусов. Коронавирусы (coronaviruses, CoVs) представляют собой сферические частицы размером 80-120 нм в диаметре. Они содержат позитивно-смысловую (positive-sense) одноцепочечную РНК (single-stranded RNA, ssRNA) протяженностью 27-32 т.п.н. [10], образующую нуклеокапсид. Нуклеокапсид окружен белковой мембраной и липосодержащей внешней оболочкой, от которой отходят булавовидные шиповидные отростки (спайки, spikes), предназначенные для взаимодействия с трансмембранными рецепторами клеток-мишеней. В 1960-х гг. первые обнаруженные коронавирусы относили к ортомиксо- и пара-миксовирусам на основании сходства их размера и общности выделения от пациентов с инфекциями дыхательных путей [12]. До начала 1980-х гг. оболочечные вирусы относили к коронавирусам по характерной морфологии, выявляемой электронно-микроскопическим исследованием — далеко отстоящими друг от друга шиповидными отростками, образующими вокруг вирусных частиц «корону» [15]

Выводы

Таким образом, для новой коронавирусной инфекции характерна высокая трансмиссивность, быстрая передача вируса от одного заболевшего к контактирующим с ним лицам. В связи с этим темпы роста заболеваемости. Спустя несколько лет после глобальной эпидемии атипичной пневмонии нынешняя пандемия SARS-CoV-2/COVID-19 послужила напоминанием о том, как новые патогены могут быстро появляться и распространяться среди населения и в конечном итоге вызывать серьезные кризисы в области общественного здравоохранения. Программы профилактики и эпиднадзора играют ключевую роль в сдерживании любого рода инфекций. Профилактическая вакцинация — это самый безопасный и экономически эффективный способ предотвратить заболевание и смерть от COVID-19, а также лучший вариант борьбы с ожидаемыми будущими вариантами. Ежегодно вирусологи осуществляют эпиднадзор за циркулирующими штаммами вируса гриппа и корректирует протоколы, чтобы отразить результаты при подготовке вакцин против наиболее растут, что требует повышение мер по раннему выявлению и лечению пациентов, зараженных SARS-Cov-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abreu E Silva GM, Porto A, Santos PS, et al. Post-mortem findings for 7 SARS-CoV-2-positive forensic autopsies: a case series. *Diagn Pathol.* 2020;15(1):89.
2. Menter T, Haslbauer JD, Nienhold R, et al. Postmortem examination of COVID-19 patients reveals diffuse alveolar damage with severe capillary congestion and variegated findings in lungs and other organs suggesting vascular dysfunction. *Histopathology.* 2020;77(2):198–209.
3. Wichmann D, Sperhake JP, Lütgehetmann M, et al. Autopsy findings and venous thromboembolism in patients with COVID-19. *Ann Intern Med.* 2020;173(4):268–277.
4. Xu Z, Shi L, Wang Y, et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med.* 2020;8(4):420–422.
5. Puelles VG, Lütgehetmann M, Lindenmeyer MT, et al. Multiorgan and Renal Tropism of SARS-CoV-2. *N Engl J Med.* 2020;383(6):590–592.
6. Su H, Yang M, Wan C, et al. Renal histopathological analysis of 26 postmortem findings of patients with COVID-19 in China. *Kidney Int.* 2020;98(1):219–227.
7. Schaller T, Hirschbühl K, Burkhardt K, et al. Postmortem examination of patients with COVID-19. *JAMA.* 2020;323(24):2518–2520.
8. Yao XH, Li TY, He ZC, et al. A pathological report of three COVID-19 cases by minimal invasive autopsies. *Zhonghua Bing Li Xue Za Zhi.* 2020;49(5):411–417.
9. Solomon IH, Normandin E, Bhattacharyya S, et al. Neuropathological features of Covid-19. *N Engl J Med.* 2020;383(10):989–992.
10. Puelles VG, Lütgehetmann M, Lindenmeyer MT, et al. SARS-CoV-2 infection of the human heart: ACE2, viral tropism, and pathophysiology. *Cell.* 2020;181(2):1–6.
11. Schmittgen TD, Jiang J, Liu Q, Yang L. A high-throughput method to monitor the expression of microRNA precursors. *Nucleic Acids Res.* 2004;32(4):e43.
12. Menter T, Haslbauer JD, Nienhold R, et al. Vascular inflammation and endothelial activation in severe COVID-19. *Lancet.* 2020;395(10238):e133–e134.
13. Tian S, Hu W, Niu L, Liu H, Xu H, Xiao SY. Pulmonary pathology of early-phase 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia in two patients with lung cancer. *J Thorac Oncol.* 2020;15(5):700
14. Zhang H, Zhou P, Wei Y, et al. Histopathologic changes and SARS-CoV-2 immunostaining in the lung of a patient with COVID-19. *Ann Intern Med.* 2020;172(9):629–632.

© Чертокоева Майя Гивиевна (docmicmai@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРЕДПОЧТЕНИЙ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Алмунтафеки Асель Фарис Марзуг

*Аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
gsn@misis.ru*

MODELS OF FORMING THE STRUCTURE OF PREFERENCES AND SOLVING THE ISSUE OF CHOOSING OPTIMAL PARAMETERS OF THE TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM FOR THE TRANSPORTATION OF FINISHED PRODUCTS

Almuntafeki Asel' Faris Marzug

Summary. The paper presents an approach to solving the problem of choosing vehicles for transporting finished products of the plant. The purpose of this study is to increase the efficiency of the transport and logistics component in the structure of the production process and the supply chain as a whole. Within the framework of the first stage, the principles of formation of the initial set of alternative variants of vehicles and a set of evaluation criteria (technical, organizational, market) for assessing the efficiency of transportation of the plant's finished products are considered. As basic options for the original set of alternatives, nine different vehicles and possible ways of placing goods were considered. At the same time, each configuration of the rolling stock was analyzed in terms of compliance with the weight parameters in the empty state, with uniform loading to full weight and when loaded to full weight with a shift in the center of gravity, as well as with possible spring and autumn restrictions. At the second stage, a model is proposed for the formation of a structure of preferences for evaluation criteria for a certain type of vehicles for transporting the finished products of the plant. At the third stage, an ordered set of vehicles was formed and the problem of choosing the best options for transporting the finished products of the plant was solved.

Keywords: selection of optimal vehicles, criteria preference structure, supply chain in the transportation of finished products, efficiency of the transport and logistics system, rolling stock selection criteria.

Аннотация. В работе представлен подход к решению задачи выбора транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината. Целью настоящего исследования является увеличение эффективности транспортно-логистической составляющей в структуре производственного процесса и цепочки поставок в целом. В рамках первого этапа рассмотрены принципы формирования исходного множества альтернативных вариантов транспортных средств и совокупности оценочных критериев (технических, организационных, рыночных) для оценки эффективности перевозки готовой продукции комбината. В качестве базовых вариантов исходного множества альтернатив были рассмотрены девять различных транспортных средств и возможные способы размещения грузов. При этом каждая комплектация подвижного состава анализировалась по соблюдению весовых параметров в порожнем состоянии, при равномерной загрузке до полной массы и при загрузке до полной массы со смещением центра тяжести, а также при возможных весенне-осенних ограничениях. На втором этапе предложена модель формирования структуры предпочтений оценочных критериев для определенного типа транспортных средств перевозки готовой продукции комбината. На третьем этапе было произведено формирование упорядоченного множества транспортных средств и решена задача выбора оптимальных вариантов для перевозки готовой продукции комбината.

Ключевые слова: выбор оптимальных транспортных средств, структура предпочтений критериев, цепочка поставок в перевозке готовой продукции, эффективность транспортно-логистической системы, критерии выбора подвижного состава.

Решение задачи выбора определенного типа транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината основывалось на стремлении получить максимальную эффективность транспортно-логистической составляющей в структуре производственного цикла и цепочки поставок в целом. При этом, каждая комплектация подвижного состава анализировалась по соблюдению весовых параметров в порожнем состоянии, при равномерной (расположение центра тяжести

посередине грузового отсека) загрузке до полной массы, при загрузке до полной массы со смещением центра тяжести и при весенних ограничениях: 6 тонн на одну ось, 10 тонн на группу из двух осей, 12 тонн на группу из трех осей, 16 тонн на группу из четырех осей. Технические особенности подвижного состава и расположение груза в кузове были рассмотрены при условии перевозки в мягком контейнере — контейнере из полипропиленовой ткани (биг-бег весом 1000 кг.) (МКР). МКР массой

1 тонна и номинальной занимаемой площадью 1,0x1,0 м позволяют добиться максимальной полезной нагрузки за счет точного расположения и оптимального крепления груза.

Основные этапы решения задачи выбора транспортных средств для транспортировки готовой продукции комбината заключаются в следующем:

Этап 1. Формирование исходного множества альтернативных вариантов транспортных средств и совокупности оценочных критериев для оценки эффективности перевозки готовой продукции комбината;

Этап 2. Формирование структуры предпочтений оценочных критериев для определенного типа транспортных средств перевозки готовой продукции комбината;

Этап 3. Формирование упорядоченного множества транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината.

Этап 1. Формирование исходного множества альтернативных вариантов транспортных средств и совокупности оценочных критериев для оценки эффективности перевозки готовой продукции комбината.

Выбор подвижного состава происходил на основании следующих видов критериев:

1. технические критерии, позволяющие учесть особенности подвижного состава и весовых параметров перевозимого груза;
2. организационные критерии, учитывающие расположение груза в кузове и особенности временных параметров погрузочно-разгрузочных операций;

3. рыночные критерии, позволяющие осуществить совмещение потенциальных стоимостных технических и технологических параметров и процессов, а также возможностей транспорта перевозчика с потенциальными возможностями рынка автотранспортных услуг региона.

Для выбора транспортных средств были рассмотрены следующие варианты (таблица 1).

Использование автопоездов при перевозке готовой продукции комбината имеет ряд преимуществ: больший объем перевозки за один раз; возможность замены только одной части автопоезда; меньше расходная часть по отдельным статьям эксплуатации.

Вариант 1. Пятиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с колесной формулой 4x2 и трехосного полуприцепа («еврофура»). Данный вид транспортного предлагается использовать как основной, исходя из описанных критериев выбора подвижного состава. Внутренние размеры полуприцепа: тент 13,62 x 2,47 x 2,67–2,71 м, допустимая осевая нагрузка погрузчика на пол 5,4 или 7,1 тонна; рефрижератор 13,31 x 2,46 x 2,6 м, допустимая осевая нагрузка погрузчика на пол 7 тонн. Для расчета был взят автопоезд собственной массой 15338 с допустимой полной массой для пятиосного автопоезда в России 40000 кг. Полезная нагрузка может составлять 24642 кг. При загрузке с расположением центра тяжести посередине без превышения осевых нагрузок максимальная полезная нагрузка не должна превышать 21900 кг.

Таблица 1.

Исходное множество возможных вариантов использования транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината

№ п/п	Тип ТС	Минимальная предельная нагрузка на ось при полной загрузке ТС, т	Полный вес ТС при полной загрузке, т
1.	Пятиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с колесной формулой 4x2 и трехосного полуприцепа («еврофура») (ТС1)	10	40
2.	Пятиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с рефрижератором и трехосного полуприцепа (ТС2)	10	40
3.	Шестиосный автопоезд в составе трехосного седельного тягача и трехосного полуприцепа (ТС3)	10	44
4.	Шестиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача и четырехосного полуприцепа (ТС4)	10	44
5.	Одиночный 2-х осный грузовик 4x2 (ТС5)	10	18
6.	Одиночный 3-х осный грузовик 6x2 (ТС6)	15 на 2 оси	25
7.	Одиночный самосвал с колесной формулой 8x4 (ТС7)	16 на 2 оси	32
8.	Самосвальный автопоезд в составе трехосного седельного тягача с колесной формулой 6x4 и трехосного полуприцепа (ТС8)	36,5 на три оси	44
9.	Самосвальный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с колесной формулой 4x2 и трехосного полуприцепа (ТС9)	18	40

Вариант 2. Пятиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с рефрижератором и трехосного полуприцепа. В данном способе первые четыре ряда расставляются по 1 МКР без расстояния между передней стенкой и между собой. Далее следует 8 рядов по два МКР в каждом и еще один ряд по 1 МКР. Вместимость составляет 21 МКР. При данном варианте расстановки перегруза по осям нет.

Вариант 3. Шестиосный автопоезд в составе трехосного седельного тягача и трехосного полуприцепа. Основное преимущества шестиосного автопоезда это полная масса 44 тонны вместо 40 тонн у пятиосного. Седельный тягач может быть с колесной формулой 6х4 (оба задних моста ведущие) и одним из вариантов 6х2, когда ведущий мост один — либо средний, либо задний. У 6х4 распределение нагрузки по осям 50/50, у 6х2 от 55/45 до 70/30. Собственная масса автопоезда 3+3 с тягачом 6х4 в облегченной конструкции 15420 кг.

Седельный тягач с колесной формулой 6х2 (рулевая ось, ведущая ось с двойной ошиновкой и подъемная ось с одиночной ошиновкой). Самая удачная комплектация из всех. Тягач легче, чем 6х4, эксплуатационные расходы ниже, проходимость в плохую погоду по дорогам с твердым покрытием и в горку лучше за счет поднятия задней оси при начале движения и на маленькой скорости. Потенциальная полезная нагрузка 29308 кг. Однако, 28 МКР невозможно загрузить из-за недостаточных внутренних габаритов полуприцепа. Максимально возможная загрузка равномерное размещение 26 МКР. При равномерной загрузке 26 МКР все осевые габариты в норме. При использовании седельного тягача с колесной формулой 6Х4 его собственная масса выше, однако это не мешает грузить 26 МКР без нарушения осевых нагрузок.

Вариант 4. Шестиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача и четырехосного полуприцепа. Допускается полная масса 44 тонны. Автопоезд в составе седельного тягача с колесной формулой 4х2 (рулевая ось и ведущая ось с двойной ошиновкой) с четырехосным полуприцепом длиной 16,5 м (110м³), у которого передняя ось отставлена на 2510 мм. Автопоезд эффективен только при опускании отставленной оси полуприцепа при весовом контроле и ее поднятии в транспортном режиме. Ездить с ней и, особенно, маневрировать проблематично. При поднятой оси в «транспортном положении» возникает перегруз по ведущей оси тягача и трехосной группы полуприцепа. Потенциальная полезная нагрузка 27585 кг. Увеличенные размеры полуприцепа позволяют при равномерной загрузке погрузить 27 МКР. С опущенной осью (при прохождении весового контроля) все осевые габариты в норме.

Для перевозки готовой продукции комбината можно использовать одиночные самосвалы. Основные

преимущества использования одиночных самосвалов заключаются в следующем: наличие подогрева кузова, что является крайне важным при работе при минусовых температурах и влажном продукте; лучшая проходимость при нежестком дорожном полотне; меньше необходимость в ровной площадке для разгрузки.

Вариант 5. Одиночный двухосный грузовик. Одиночный грузовик с легким кузовом (тент или облегченный фургон) с колесной формулой 4х2. Потенциальная полезная нагрузка 10586 кг. Возможна перевозка 10 МКР с немного смещенным вперед центром тяжести.

Вариант 6. Одиночный трехосный грузовик. Одиночный грузовик со шторным кузовом с колесной формулой 6х2 (рулевая ось, ведущая ось с двойной ошиновкой и подъемная ось с одиночной ошиновкой). Потенциальная полезная нагрузка 13970 кг. Возможна загрузка 12 МКР при распределении осевых нагрузок 65 % на ведущую ось и 35 % на подъемную. Если будет 70 %, то по ведущей оси будет превышение допустимой нагрузки на одиночную ось в 10 тонн.

Вариант 7. Одиночный самосвал с колесной формулой 8х4. Одиночный самосвал с колесной формулой 8х4 (две рулевых оси и две ведущих оси с двойной ошиновкой) с объемом кузова 20 м³. Потенциальная полезная нагрузка 16500 кг. Межосевое расстояние у рулевых осей 1795 мм. С одиночной ошиновкой при межосевом расстоянии 1300–1800 мм. Допускается нагрузка на группу осей 15000 кг. Межосевое расстояние у ведущих осей 1400 мм. Оно также попадает в этот интервал, но при сдвоенной ошиновке допускается нагрузка на группу осей уже 16000 кг. Суммарно две группы осей дают всего 31000 кг, поэтому полезная нагрузка на 500 кг ниже 15500 кг. При равномерной загрузке 15500 кг происходит перегруз по группе ведущих осей. При соблюдении осевых ограничений возможна загрузка 11689 кг.

Вариант 8. Самосвальный автопоезд в составе трехосного седельного тягача с колесной формулой 6х4 и трехосного полуприцепа. Положение сцепного шкворня переднее. Потенциальная полезная нагрузка 25952 кг. При равномерной загрузке 25952 кг до разрешенной полной массы в 44000 кг происходит перегруз по группе прицепных осей. Положение сцепного шкворня заднее. Потенциальная полезная нагрузка 25952 кг. При равномерной загрузке 25952 кг до разрешенной полной массы в 44000 кг происходит перегруз по группе прицепных осей. Расстояние от задней оси тягача до первой оси полуприцепа 2123 мм, то есть менее 2500 мм

Вариант 9. Самосвальный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с колесной формулой 4х2 и трехосного полуприцепа. У данного типа автопоезда рулевая ось и ведущая ось с двойной ошиновкой, а объем кузова составляет 34 м³. Это один из самых больших кузовов,

применяемых на территории РФ («Тонар»), и один из самых легких.

Положение сцепного шкворня заднее. Потенциальная полезная нагрузка 22352 кг. При равномерной загрузке 22352 кг до разрешенной полной массы в 40000 кг происходит перегруз по ведущей оси тягача. Предсказуемо сместить центр тяжести сыпучего груза почти невозможно. При загрузке полного кузова 34м³ возникает перегруз, в том числе технический, по всем параметрам. Риски: взрывы колес от перегрева, отказ тормозов, плохая стабилизация при движении автопоезда.

Положение сцепного шкворня переднее. Потенциальная полезная нагрузка — 22352 кг. При равномерной загрузке 22352 кг до разрешенной полной массы в 40000 кг происходит перегруз по группе прицепных осей на пределе допустимых 2 %. При загрузке 35000 кг возникает перегруз, в том числе технический, по ведущей оси тягача (небольшой, допустимый 13 т) и более существенный по группе прицепных осей.

Этап 2. Формирование структуры предпочтений оценочных критериев для определенного типа транспортных средств перевозки готовой продукции комбината.

Сформированное множество оценочных критериев для отбора транспортных средств, осуществляющих перевозку готовой продукции комбината, имеют определенную (собственную) структуру предпочтений (значимости). Степень предпочтения оценочных критериев (критерия F_z над критерием F_x) возможно задать в виде матрицы $\mu(F_z, F_x) \in [0,1], \forall F_z \vee F_x$. Таким образом структуры предпочтений оценочных критериев для выбора транспортных средств будут сведены в следующую таблицу 2.

Таблица 2.

Структура предпочтений оценочных критериев $\mu(F_z, F_x)$ для выбора транспортных средств

$\mu(F_z, F_x)$		Технические			Организа- ционные			Рыночные		
		ТКр ₁	ОКр ₁	РКр ₁
Технические	ТКр ₁	1								
	...		1							
	...			1						
Организа- ционные	ОКр ₁				1					
	...					1				
	...						1			
Рыночные	РКр ₁							1		
	...								1	
	...									1

Этап 3. Формирование упорядоченного множества транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината

Степень предпочтения транспортного средства TC_d над транспортным средством TC_g по оценочному критерию F возможно определить величиной $\eta_F(TC_d, TC_g) \in [0,1]$ (таблица 3).

Для решения задачи выбора транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината необходимо осуществить процедуру слоевого упорядочивания альтернатив (транспортных средств). Для этих целей для всех пар транспортных средств по каждому оценочному критерию заданы матрицы $\|\eta_F(TC_d, TC_g)\|$ и $\|\mu(F_z, F_x)\|$. В данной постановке задача выбора наиболее предпочтительных транспортных средств, составляющих подмножество TC_{nn} выглядит следующим образом:

$$TC_{nn} = \operatorname{argmax}_{(u)} \varphi_{nn}(TC_u) \forall u = \overline{1,9}, \quad (1)$$

где $\varphi_{nn}(TC_u)$ значение функции принадлежности транспортного средства TC_u к подмножеству предпочтительных проектов TC_{nn} .

Таблица 3.

Определение структуры предпочтений транспортных средств (ТС) по критерию F

Критерий (F); $\ \eta_F(TC_d, TC_g)\ $	ТС1	ТС2	ТС3	ТС4	ТС5	ТС6	ТС7	ТС8	ТС9
ТС1	1								
ТС2		1							
ТС3			1						
ТС4				1					
ТС5					1				
ТС6						1			
ТС7							1		
ТС8								1	
ТС9									1
$\varphi_{nn}(TC_u, F)$									

Для определения расчетных значений функции $\varphi_{nn}(TC_u)$ предварительно необходимо осуществить следующие операции.

На первом этапе вычисляются числовые характеристики степени принадлежности определенного транспортного средства к подмножеству наиболее предпочтительных по оценочному критерию F :

$$\varphi_{nn}(TC_u) = 1 - \sup [\eta_F(TC_u, TC_g) - \eta_F(TC_g, TC_u)]. \quad (2)$$



Рис. 1. Слоевое упорядочивание транспортных средств для перевозки готовой продукции комбината

Следующим шагом происходит формирование нечеткого отношения нестроого предпочтения на множестве транспортных средств (таблица 4, рисунок 1), исходя из определенных функций принадлежности транспортного средства TC_u к подмножеству предпочтительных транспортных средств TC_{np} и структурой предпочтений на множестве оценочных критериев $\|\mu(F_z, F_x)\|$:

$$\eta(TC_{d'}, TC_g) = \sup \min_{(z,x)} [\varphi_{np}(TC_{d'}, F_z); \varphi_{np}(TC_{d'}, F_x); \mu(F_z, F_x)]. \quad (3)$$

Далее производится расчет значения функции принадлежности каждого транспортного средства к подмножеству предпочтительных

$$\varphi_{np}(TC_u) = 1 - \sup [\eta(TC_{d'}, TC_g) - \eta(TC_{d'}, TC_u)]. \quad (4)$$

В случае необходимости производится корректировка значений $\varphi_{np}(TC_u)$ исходя из следующих соотношений

$$\varphi_{np}^*(TC_u) = \{\varphi_{np}(TC_u), \text{ если } \eta_{\pi}(TC_{d'}, TC_u) = 1, \min[\varphi_{np}(TC_u), \eta(TC_{d'}, TC_u)], \text{ если } \eta(TC_{d'}, TC_u) \neq 1\}. \quad (5)$$

Таблица 4.

Формирование нечеткого отношения нестроого предпочтения на исходном множестве транспортных средств

$\ \eta(TC_{d'}, TC_g)\ $	ТС1	ТС2	ТС3	ТС4	ТС5	ТС6	ТС7	ТС8	ТС9
ТС1	1								
ТС2		1							
ТС3			1						
ТС4				1					

$\ \eta(TC_{d'}, TC_g)\ $	ТС1	ТС2	ТС3	ТС4	ТС5	ТС6	ТС7	ТС8	ТС9
ТС5					1				
ТС6						1			
ТС7							1		
ТС8								1	
ТС9									1
$\varphi_{np}(TC_u)$									
$\varphi_{np}^*(TC_u)$									

Выводы

Таким образом, реализация данных моделей (1-5) позволит решить задачу выбора (слоевого упорядочивания исходного множества альтернатив) транспортных средств по их приоритетности по сформированной совокупности оценочных критериев и осуществить ранжирование транспортных средств для эффективной перевозки готовой продукции комбината. В такой постановке приоритетное множество транспортных средств составят: пятиосный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с колесной формулой 4х2 и трехосного полуприцепа («еврофура») (ТС1); шестиосный автопоезд в составе трехосного седельного тягача и трехосного полуприцепа (ТС3); самосвальный автопоезд в составе двухосного седельного тягача с колесной формулой 4х2 и трехосного полуприцепа (ТС9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажина Д.Б., Лукинский В.С., Николаевский Н.Н. Имитационное моделирование цепей поставок на основе системной динамики // Логистика и управление цепями поставок. 2020. № 1 (96). С. 47–56.
2. Борзова А.С., Львович Я.Е., Муха В.В. Многокритериальное моделирование выбора варианта структуры управления логистическим процессом в организационной системе // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. Т. 9. № 2 (33). С. 17–18.
3. Брынцев А.Н., Козенкова Т.А., Адамов Н.А. Особенности развития логистики в условиях цифровой экономики // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. — 2018. — № 4. — С. 11–14.
4. Воеводская А.С. Системный анализ как метод принятия решения при логистическом проектировании складских систем // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 4-1 (62). С. 68–72.
5. Волков В.Д. Формирование метамодели цифровой логистики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2021. № 1. С. 16–23.
6. Гусарова М.М., Кахриманов О.А. Применение цифровых технологий в логистических системах // Инновационная экономика и современный менеджмент. 2021. №1(32). С. 17–18.
7. Дмитриев А.В. Развитие цифровых платформ транспортно-логистического обслуживания // Логистические системы в глобальной экономике. 2020. № 10. С. 125–129.
8. Дыбская В.В., Сергеев В.И. Трёхуровневая модель интегрированного управления запасами в цепях поставок // Логистика и управление цепями поставок. 2020. № 2 (97). С. 47–57.
9. Ермаков А.А. Имитационное моделирование для принятия решений в логистике // Актуальные исследования. 2021. № 17 (44). С. 9-11.
10. Квитко К.Б. Структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера // Инновационные транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 4. С. 76–89.
11. Котов Ф.А., Преображенская В.В. Применение методов имитационного моделирования в складской логистике // Научный аспект. 2020. Т. 14. № 2. С. 1831–1836.
12. Лёвкин Г., Куршакова Н., Симак Р., Саттаров Р. Методические подходы к декомпозиции логистической системы производственного предприятия // Логистика. 2021. № 1 (170). С. 36–40.
13. Мандрыкин А.В., Пахомова Ю.В. Модель организации и управления логистическими системами // Экономинфо. 2020. Т. 17. № 1. С. 61–66.
14. Мартынович Н.В. Проблема рисков при построении глобальных цепей поставок // Цифровая наука. 2021. № 1. С. 17–22.
15. Çağlar Kalkan B., Aydin K. The role of 4PL provider as a mediation and supply chain agility. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 2020;2(2):99–111. DOI: <https://doi.org/10.1108/MS CRA-09-2019-0019>.
16. Dyczkowska J. 4PL logistics operator in the supply chain. *Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej*. 2018;110(1):25–36. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.1461>.
17. Kolinski A., Horzela A., Cudzilo M., Domanski R. Reference Model of Information Flow in Business Relations with 4PL Operator. In: Kolinski A., Dujak D., Golinska-Dawson P. (eds.) *Integration of Information Flow for Greening Supply Chain Management. EcoProduction (Environmental Issues in Logistics and Manufacturing)*. Springer, Cham.; 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-24355-5_2.
18. Lambrechts W., Son-Turan S., Reis L., Semeijn J. Lean, Green and Clean? Sustainability Reporting in the Logistics Sector. *Logistics*. 2019;3(1):3. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics3010003>.
19. Qian X., Fang S.-C., Yin M., et. al. Selecting green third party logistics providers for a loss-averse fourth party logistics provider in a multiattribute reverse auction. *Information Sciences*. 2021;548:357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.09.011>.
20. Schramm H.-J., Czaja C. N., Dittrich M., Mentschel M. Current Advancements of and Future Developments for Fourth Party Logistics in a Digital Future. *Logistics*. 2019;3(1):7. <https://doi.org/10.3390/logistics3010007>.

© Алмунтафеки Асель Фарис Марзуг (gsn@misis.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN INFORMATION PROCESSING PROCESSES

N. Verezubova
N. Petrakova
M. Petrakov

Summary. At the present stage, characterized by global digitalization, there is a gradual introduction of technologies based on artificial intelligence into various processes. Information processing processes for various purposes are no exception.

At the same time, the analysis of the use of artificial intelligence in information processing processes has shown that a simple decision on the introduction of artificial intelligence in these processes is not enough. It is necessary to define neural network training algorithms and choose the type of neural network to be trained based on the purposes of information processing, as well as formulate a list of activities performed for the purposes of using neural networks. For example, an incorrectly selected neural network and the specified training data can lead to critical consequences when processing information. This is due to the fact that neural networks, which are the basis of artificial intelligence, evolve on the basis of errors while learning, and such errors will increase with each stage of training. At the same time, errors in the actions of artificial intelligence may not be noticeable for a long time, even with its practical application. Incorrectly selected types of neural networks that do not correspond to the nature of the information being processed can also lead to problems related to the interpretation of information. For example, artificial intelligence can produce a certain result, but this is not always the case, such a result will meet the quality requirements and cannot be applied in practice.

Keywords: artificial intelligence, information processing, neural networks, neural network training, machine learning, learning algorithms.

Вerezubova Наталья Афанасьевна

Кандидат экономических наук, доцент,
Московская государственная академия ветеринарной
медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина
nvez@mail.ru

Петракова Наталья Васильевна

Кандидат педагогических наук, доцент,
Брянский государственный аграрный университет

Петраков Михаил Александрович

Кандидат педагогических наук, доцент,
Брянский государственный аграрный университет

Аннотация. На современном этапе, характеризующемся глобальной цифровизацией, наблюдается постепенное внедрение технологий, основанных на искусственном интеллекте, в различные процессы. Процессы обработки информации для различных целей не являются тому исключением.

Вместе с тем, анализ применения искусственного интеллекта в процессах обработки информации показал, что простого принятия решения о внедрении искусственного интеллекта в указанные процессы недостаточно. Необходимо определение алгоритмов обучения нейронных сетей и выбор вида обучаемой нейронной сети исходя из целей обработки информации, а также формулирование перечня мероприятий, выполняемых для целей использования нейронных сетей. Так, например, неправильно выбранная нейронная сеть и заданные данные для обучения могут привести к критическим последствиям при обработке информации. Обусловлено это тем, что нейронные сети, заложенные в основу искусственного интеллекта, обучаясь эволюционируют на основе ошибок и такие ошибки с каждым этапом обучения будут увеличиваться. При этом ошибки в действиях искусственного интеллекта могут быть не заметны долгое время даже при его практическом применении. Неправильно выбранные виды нейронных сетей, не соответствующие характеру обрабатываемой информации, также могут привести к проблемам, связанным с интерпретацией информации. Например, искусственный интеллект может выдавать определенный результат, но не всегда такой результат будет отвечать требованиям качества и не может быть применим в практической деятельности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, обработка информации, нейронные сети, обучение нейронных сетей, машинное обучение, алгоритмы обучения.

На современном этапе общественного развития искусственный интеллект и информационные технологии — это не просто модные термины, а важные составляющие современного цифрового мира. В основе информационных технологий лежат программное обеспечение, методы передачи данных и соответствующее техническое обеспечение. При этом тенденции развития искусственного интеллекта определяют направление того, какие будущие информационные технологии и приложения будут реализованы на его базе.

В наиболее общем понимании искусственный интеллект относят к области компьютерных наук, сосредоточенной на создании интеллектуальных машин, которые думают и ведут себя как люди, учатся на основе предыдущего опыта, понимают язык, анализируют решения и проблемы и реагируют на них [8].

По данным, подтвержденным исследованиями рынка, проведенными немецкой компанией, специализирующейся на рыночных и потребительских данных Statista, стоимость бизнеса в области искусственного интеллек-

та в 2020 году в 12 раз меньше аналогичной стоимости, прогнозируемой к 2028 году и в 3 раз меньше стоимости бизнеса в области искусственного интеллекта в 2023 году (рисунок 1).

Как видно из данных, представленных на рисунке 1, к 2028 году стоимость бизнеса в области искусственного интеллекта вырастет более чем в десять раз по сравнению с 2020 годом и достигнет 641,3 миллиардов долларов США.

В настоящий момент мировой рынок искусственного интеллекта, который оценивается в 142,5 миллиарда долларов США, продолжает расти благодаря существенному объему инвестиций в данный рынок. Так, с 2020 по 2022 годы общий ежегодный объем корпоративных глобальных инвестиций в стартапы в области искусственного интеллекта увеличился на пять миллиардов долларов США, превысив почти вдвое аналогичный показатель прошлых периодов. Основные компании (в % от общего числа компаний рисунок 2), осуществляющие вложения в технологии искусственного интеллекта — это компании, занимающиеся машинным обучением, обучением нейронных сетей, чат-ботами, специализирующиеся на взаимодействии человека с машинами.

Как видно из данных, представленных на рисунке 2, кроме компаний, специализирующихся на машинном

обучении и обучении нейронных сетей, инвестиции в искусственный интеллект поступают от компаний-разработчиков медицинского оборудования, компаний, специализирующихся на информационных и образовательных технологиях, а также на технологиях в промышленности (на данные компании приходится самая малая доля инвестиций в искусственный интеллект).

Исходя из вышепредставленной динамики инвестиций наиболее значимыми отраслями для внедрения искусственного интеллекта являются высокие технологии и телекоммуникации, а также здравоохранение.

Существующие возможности искусственного интеллекта, такие, как диалоговые интерфейсы и компьютерное зрение, принятие решений на основе данных, уже внедрены в стандартные бизнес-процессы компаний различных отраслей промышленности. Процессы обработки информации не являются тому исключением.

Существующая экосистема искусственного интеллекта достаточно сложна и состоит из машинного обучения, искусственных нейронных сетей, обработки естественного языка, робототехники. В процессах обработки информации искусственные нейронные сети обучаются путем анализа исторических данных, извлечения уроков из существующих данных и применяют полученные зна-



Рис. 1. Динамика роста стоимости бизнеса в области искусственного интеллекта [9]



Рис. 2. Компании (по направлениям деятельности), инвестирующие в технологии искусственного интеллекта [10]

ния к новым данным или используют полученные знания для прогнозирования данных.

Вместе с тем, возникает объективный вопрос о том, как решить проблему совершенствования применения искусственного интеллекта в современных процессах обработки информации. Одним из вариантов решения существующей проблемы является выработка эффективного подхода к обучению искусственного интеллекта, в основу которого заложен интеллектуальный анализ данных. В наиболее общем понимании интеллектуальный анализ данных представляет собой процесс извлечения только нужных для принятия решения данных (полезной информации) из огромного количества исходного материала (значительного объема данных данных).

В специализированной литературе обучение нейронных сетей по определенным методиками рассматривают в качестве наиболее эффективного подхода к интеллектуальному анализу данных [3, 7], что обусловлено свойствами нейронных сетей превращать необработанные данные в полезную информацию. Нейронные сети могут выявлять закономерности в больших объемах данных, позволяя больше узнать о специфике информации. Например, с помощью интеллектуального анализа данных, получаемого от нейронных сетей в организационной деятельности, можно получить информацию для выработки организационных стратегий, увеличения объемов продаж или снижения затрат.

При этом использование интеллектуального анализа данных посредством нейронных сетей сопряжено с обязательным установлением методики анализа данных по набору критериев для того, чтобы впоследствии данные можно было классифицировать исходя из информации, пригодной для использования. Вместе с тем, перед тем как выработать алгоритмы обучения нейронных сетей для целей интеллектуального анализа данных, необходимо выработать перечень мероприятий, направленных на использование данных для целей интеллектуального анализа. Наиболее правильным видится подход к интеллектуальному анализу данных, состоящий из шести основных мероприятий (таблица 1).

Перечень мероприятий, представленных в таблице 1 и выполняемый для целей использования нейронных сетей, ориентированных на интеллектуальный анализ данных, не является исчерпывающим, но видится минимально необходимым для целей получения всей необходимой информации, получаемой в процессе анализа данных.

Отдельные вопросы касаются также выбора типа нейронных сетей, которые будут использованы для обучения в процессах обработки информации. Выбор со-

ответствующей нейронной сети осуществляется исходя из целей получения информации и исходя из набора данных, которые анализирует нейронная сеть. Первым типом нейронных сетей является сверточная нейронная сеть (CNN). Сверточные нейронные сети пригодны для процессов обработки информации, где необходима классификация изображений [4, 5].

Таблица 1.

Перечень мероприятий, выполняемых для целей использования нейронных сетей, ориентированных на интеллектуальный анализ данных

Наименование мероприятия	Содержание мероприятия
Определение цели анализа данных	Определение точных целей и потребностей в получении информации, а также оценка текущей информации до проведения интеллектуального анализа данных
Сбор данных	Сбор, загрузка и интеграция данных из всех доступных источников
Подготовка данных	Перед обработкой данных программным обеспечением, которое очищает, конструирует и форматирует данные, данные должны быть отсортированы по сегментам с целью правильной интерпретации таких данных нейронными сетями
Выбор модели	Создание тестовых сценариев для проверки достоверности выбранных моделей обучения нейронных сетей на группе данных и адаптация выбранной модели обучения для всех данных, подлежащих анализу
Оценка данных	Оценка полученной информации на основе выбранной модели и доработка модели в случае, если анализ данных не привел к запланированному результату
Представление данных	Переведение проанализированных данных в формат, пригодный для использования

В основе сверточных нейронных сетей лежат трехмерные объемы нейронов, а входные данные состоят из изображений, которые ограничивают архитектуру нейронных сетей в трех измерениях: ширина, высота, глубина. Каждый сверточный слой определяется его весами фильтров (выполняют функцию системной памяти), которые определяются на этапе обучения через процесс обновления. Таким образом, веса фильтров сначала инициализируются, а затем корректируются обратным распространением для того, чтобы минимизировать функцию затрат. Впоследствии все веса фильтров фиксируются на этапе тестирования.

Еще одним видом нейронной сети является рекуррентная нейронная сеть (RNN). Такие сети используют для процессов обработки информации, где имеет зна-

чение последовательность данных, например, записи голосов и звуков. В рекуррентных нейронных сетях сигналы распространяются в обоих направлениях с помощью петель обратной связи в сети. Функции, полученные из предыдущих входных данных, передаются обратно в сеть, что дает сети возможность запоминать. Рекуррентная нейронная сеть имеет внутреннюю память и функционируют таким образом, что выходные данные предыдущих временных шагов используются в качестве входных данных для текущего временного шага. Кроме того, рекуррентная нейронная сеть динамична из-за постоянно меняющегося состояния нейронов, стремящихся к достижению точки равновесия [6]. Учитывая выше-названные свойства рекуррентных нейронных сетей, их допустимо использовать в процессах обработки информации, где имеют значение последовательные автокорреляционные данные, такие, как временные ряды.

Кроме сверточных и рекуррентных нейронных сетей в процессах обработки информации может использоваться генеративная нейронная сеть (GAN) [1, 7]. По своей сути генеративная нейронная сеть представляет собой две нейронные сети: одна сеть выступает в качестве генератора, создающего ложные данные, а вторая сеть выступает в качестве дискриминатора, который пытается определить, являются ли данные реальными или ложными. Процесс сопоставления генератора и дискриминатора помогает определить лучшие результаты для применения моделей. В своей основе генеративные нейронные сети полагаются на идею о том, что генератор данных хорош, если мы не можем отличить поддельные данные от реальных. В статистике это называется тестом с двумя выборками — тестом для ответа на вопрос, соответствуют ли наборы данных $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ и $Y' = \{y'_1, \dots, y'_n\}$, которые были взяты из того же дистрибутива.

Генеративные нейронные сети могут быть использованы в тех процессах, где необходимо получение информации из комбинации элементов. Так, например, для процессов обработки информации для медицинских целей можно сгенерировать список известных элементов для использования в нейронной сети, чтобы создать множество возможностей для комбинаций элементов, которые впоследствии могут стать, например, средством лечения различных заболеваний [2].

Вместе с тем, на практике генеративные нейронные сети могут быть трудно обучаемы. Обусловлено это тем, что генератор и дискриминатор должны обучаться с одинаковой скоростью. Если дискриминатор будет обучаться эффективнее и быстрее генератора или наоборот, градиент будет уменьшаться до тех пор, пока модель не станет неспособной к улучшению. Кроме того, даже если две сети сбалансированы в своем обучении, генеративная нейронная сеть может выдавать результат анализа, предоставляя несколько выборок данных, не позволяющих их использование. Так, например, генеративные модели, обучение которых основано на распределении вероятностей, могут выдавать получение определенного результата, но не всегда такой результат будет отвечать требованиям качества. Кроме того, понятие качества полученного результата может зависеть от поставленной задачи.

Подводя итог настоящему исследованию, необходимо отметить, что на современном этапе общественного развития использование искусственного интеллекта в различных процессах обработки информации становится объективной реальностью. Вместе с тем, простого принятия решения о внедрении искусственного интеллекта в процессы принятия решения недостаточно. Необходимо определение алгоритмов обучения нейронных сетей и выбор вида обучаемой нейронной сети исходя из целей обработки информации, а также формулирование перечня мероприятий, выполняемых для целей использования нейронных сетей. Так, например, неправильно выбранная нейронная сеть и заданные данные для обучения могут привести к критическим последствиям при обработке информации. Обусловлено это тем, что нейронные сети, заложенные в основу искусственного интеллекта, обучаясь эволюционируют на основе ошибок и такие ошибки с каждым этапом обучения будут увеличиваться. При этом ошибки в действиях искусственного интеллекта могут быть не заметны долгое время даже при его практическом применении. Неправильно выбранные виды нейронных сетей, не соответствующие характеру обрабатываемой информации, также могут привести к проблемам, связанным с интерпретацией информации. Например, искусственный интеллект может выдавать определенный результат, но не всегда он будет отвечать требованиям качества и может быть неприменим в практической деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетов А.Э., Коваленко А.А. Виды генеративно-сопоставительных сетей // Достижения науки и образования. 2019. №4 (45). С.7–13.
2. Гусев А.В. Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // Врач и информационные технологии. 2017. №3. С. 92–105.
3. Денисенко В.В., Евтеева К.С., Савченко И.И., Скрыпников А.А. Использование искусственного интеллекта для обработки персональных данных // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. №7-1. С. 110–114.
4. Зойдов К.Х., Пономарева С.В., Серебрянский Д.И. Стратегическое планирование и перспективы применения искусственного интеллекта в высокотехнологичных промышленных предприятиях Российской Федерации. М.: ИПР РАН, 2019. 115 с.

5. Мильгизин И.Э., Баева Л.В. К вопросу о креативности в нейросетях искусственного интеллекта // *Философские проблемы информационных технологий и киберпространства*. 2017. №1 (13). С.62–71.
6. Самарин А.М. Применение рекуррентных нейронных сетей в страховании // *Вестник СИБИТа*. 2014. №1 (9). С.19–24.
7. Титова М.А., Громов А.Ю. Генеративный дизайн с использованием интеллектуальных технологий // *Современные технологии в науке и образовании — СТНО-2021: сб. тр. IV междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.4. / под общ. ред. О.В. Миловзорова*. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021. С. 112–114.
8. Шотыло Д.М., Крайнова В.Е., Скурыдин А.В. Тенденции развития искусственных нейронных сетей в цифровой экономике // *ЭКОНОМИНФО*. 2018. №4. С.65–69.
9. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/1365145/artificial-intelligence-market-size/> (дата обращения 09.10.2023 года).
10. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.statista.com/topics/3104/artificial-intelligence-aiworldwide/#topicOverview> (дата обращения 09.10.2023 года).

© Верезубова Наталья Афанасьевна (nverez@mail.ru); Петракова Наталья Васильевна; Петраков Михаил Александрович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ РАБОТЫ СЕКРЕТАРЯ ГЭК ВУЗА

DEVELOPMENT OF A PROGRAM SUBSYSTEM TO SUPPORT THE WORK OF THE SEC'S SECRETARY OF A UNIVERSITY

**K. Volotovskiy
A. Dorofeev
R. Bazhenov**

Summary. The article is devoted to the issue of automating the work of the State Examination Commission (GEC), which is an urgent task for any university. The article considers the task of developing an application that supports the work of the state examination commission of a university and allows generating the main documents in MS Word format based on the input data, prepared according to the results of the final state examination commission (defense protocol, report of the chairman of the GEC and others).

Keywords: C#, MySQL, client-server architecture, report generation.

Волотовский Константин Тимофеевич

Иркутский национальный исследовательский
технический университет
hunzer.kostya@gmail.com

Дорофеев Андрей Сергеевич

К.т.н., доцент, Иркутский национальный
исследовательский технический университет
dorbaik@ex.istu.edu,

Баженов Руслан Иванович

К.п.н., доцент, Приамурский государственный
университет им. Шолом-Алейхема (г. Биробиджан),
r-i-bazhenov@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросу автоматизации работы государственной экзаменационной комиссии (ГЭК), что является актуальной задачей для любого вуза. Рассматривается задача разработки приложения, служащего для поддержки работы государственной экзаменационной комиссии вуза и позволяющего генерировать по входным данным основные документы в формате MS Word, готовящиеся по результатам итоговой государственной экзаменационной комиссии (протокол защиты, отчет председателя ГЭК и другие).

Ключевые слова: C#, MySQL, клиент-серверная архитектура, генерация отчета.

Введение

Процесс защиты выпускной квалификационной работы является обязательным условием для получения высшего образования. В настоящее время наличие электронной информационной образовательной среды (ЭИОС) вуза является требованием федеральных государственных образовательных стандартов. Данная среда должна, кроме всего прочего, обеспечивать фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения основной образовательной программы (ООП) в целом. В ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» разработана и постоянно совершенствуется ЭИОС, которая поддерживает все основные процессы вуза, включая результаты освоения ООП, однако, сам процесс заполнения документов государственной экзаменационной комиссии (ГЭК) вуза в настоящее время проводится, в основном, на бумажных носителях (в книге протоколов, которая является обязательным элементом фиксации процесса итоговой аттестации выпускника, и заполняется вручную секретарем в процессе защиты) и является достаточно трудоёмким. В связи с этим возникает необходимость разработки подсистемы, автоматизирующей данный процесс, что позволит облегчить работу ГЭК, а также уменьшить ко-

личество времени, необходимого на оформление протоколов защиты секретарем ГЭК и отчетных документов председателя ГЭК. В работе описывается проектирование и разработка подобной подсистемы на примере института информационных технологий и анализа данных ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНТИУ).

Используемые методы исследования: методы системного анализа, функционального проектирования, методы объектно-ориентированного программирования, теория проектирования баз данных.

Объектом исследования является государственная итоговая аттестация, а предметом — поддержка работы государственной экзаменационной комиссии.

1. Краткое описание предметной области

Государственная итоговая аттестация (ГИА) — это финальное испытание, которое обучающиеся всех форм проходят в конце своего обучения и которое направлено на оценку уровня их знаний и компетенций, приобретенных во время образовательного процесса в вузе. ГИА может включать в себя сдачу экзаменов (государственные), защиту дипломной работы, дипломного про-

екта, магистерской диссертации или научной квалификационной работы, а также выполнение практических заданий. Результаты ГИА имеют решающее значение для получения диплома о высшем образовании [1].

Для проведения ГИА в университете в филиалах университета создаются государственные экзаменационные комиссии (далее — ГЭК). Целью ГИА является установление уровня подготовки выпускников университета к выполнению профессиональных задач и соответствия их подготовки требованиям ФГОС ВО.

Протокол заседания ГЭК — документ, в котором фиксируются результаты проведенной аттестации. Он содержит информацию о составе комиссии, об аттестуемых, о результатах экзаменов, защиты выпускных квалификационных работ и другие данные.

Отчет председателя ГЭК — документ, в котором представлена оценка качества подготовки студентов, прошедших государственную итоговую аттестацию в вузе. Он включает в себя описание состава ГЭК, результаты ГИА, включая анализ результатов защиты ВКР, общие итоги работы ГЭК и многое другое. Отчет является одним из основных инструментов оценки работы ГЭК и позволяет проверить качество проведения государственной итоговой аттестации в высших учебных заведениях.

2. Постановка задачи

Настоящая работа посвящена разработке программной подсистемы поддержки работы ГЭК вуза. Для этого необходимо спроектировать/модернизировать базу данных, которая будет хранить информацию составе комиссии, ходе аттестации, результатах защиты, а также разработать интерфейс и основные функциональные возможности для работы с данными, включая алгоритмы для импорта данных и экспорта выходных документов.

Разработанная программная подсистема поддержки работы ГЭК вуза должны поддерживать следующие возможности:

- вести удобное для пользователя заполнение протокола государственной экзаменационной комиссии и формирование всех необходимых для этого списков;
- сортировать и фильтровать данные во всех списках;
- экспортировать протокол заседания ГЭК в MS Word;
- формировать и экспортировать в MS Word следующие документы: отчет председателя ГЭК (результаты защиты ВКР, результаты работы ГЭК, результаты сдачи государственного экзамена (для специалитета), приложения Г, Д, Е [1]. Из распечатанных протоколов можно сформировать книгу протоколов защиты.

3. Описание средств разработки

При разработке базы данных были использованы следующие программные средства: СУБД MySQL, MySQL Workbench. MySQL Workbench — это унифицированный визуальный инструмент для архитекторов баз данных, разработчиков и администраторов баз данных [2]. MySQL — это свободно распространяемая СУБД, разработанная компанией MySQL AB [3]. СУБД MySQL использует клиент-серверную архитектуру и обладает комплексом важных преимуществ перед другими системами, включая простоту использования, обширную функциональность, безопасность, масштабируемость и высокую скорость.

При разработке клиентской части системы были применены следующие средства: платформа Windows Forms, язык программирования C#.

Windows Forms — это платформа пользовательского интерфейса для создания классических приложений Windows и обеспечивает один из эффективных способов создания классических приложений с помощью визуального конструктора в Visual Studio [4]. Кроме того, Windows Forms имеет хорошую интеграцию с другими технологиями Microsoft, такими как .NET Framework и Visual Studio, что делает его популярным выбором для разработки Windows-приложений.

Для работы с Windows Forms применялся современный объектно-ориентированный язык программирования C#, позволяющий разработчикам создавать разные типы безопасных и надежных приложений, выполняющихся в .NET [5].

4. Объектная модель задачи

Унифицированный язык моделирования (UML) является графическим языком для визуализации, спецификации, конструирования и документирования систем, в которых большая роль принадлежит программному обеспечению [6]. UML обеспечивает комплексный подход к созданию и улучшению программных продуктов.

Диаграмма прецедентов отображает отношения между прецедентами и актерами, которые являются частным случаем классов. Она используется для описания статического вида системы с точки зрения применения прецедентов и играет важную роль в организации и моделировании поведения системы.

В нашем случае в системе работают две роли: «Секретарь» и «Администратор». Задачей «Секретаря» является ведение (добавление записей, корректировка и удаление) списка студентов, групп, профилей (специализаций, магистерских программ), направлений под-

готовки (специальностей), институтов, квалификаций, форм обучения, протоколов, вопросов в протоколах, научных квалификаций, ролей, сотрудников, ролей сотрудников, составов ГЭК, членства в составах, а также выдача основных документов.

В задачи «Администратора» входит авторизация, а также ведение списка секретарей и пользователей.

Построенная диаграмма прецедентов представлена на рис. 1. Диаграммы классов являются наиболее распространенным типом диаграмм при моделировании систем, представляя классы, интерфейсы, объекты и ко-операции, а также описывая их отношения.

Они отображают статический вид системы с точки зрения проектирования.

Обычно диаграмма классов отображает классы интерфейса проектируемой системы и классы данных, сущности базы данных (рис. 2). Следует отметить, что на рис. 2, 3 представлены основные классы/отношения, включая уже имеющиеся в ЭИОС вуза, которые связаны с процессом аттестации и подготовки документов по результатам ГИА.

5. Проектирование базы данных (модификация существующей) и общая архитектура приложения

Модель данных — это совокупность правил порождения структур данных в базе данных, операций над ними, а также ограничений целостности, определяющих допустимые связи и значения данных, последовательность их изменения [7].

Для проектирования структуры данных в реальной практике используется семантическое моделирование — метод моделирования структуры данных, основанный на их значимости. Различные варианты диаграмм сущность-связь (ER) являются инструментами семантического моделирования. После преобразования получившихся пар отношений согласно правилам преобразования ER-диаграмм получена общая схема данных, представленная на рис. 3, которая была проверена на соответствие третьей нормальной форме.

Следующим шагом разработки было преобразование логической схемы отношений в физическую модель для СУБД MySQL.

На рис. 4 представлена общая архитектура разработанной системы.

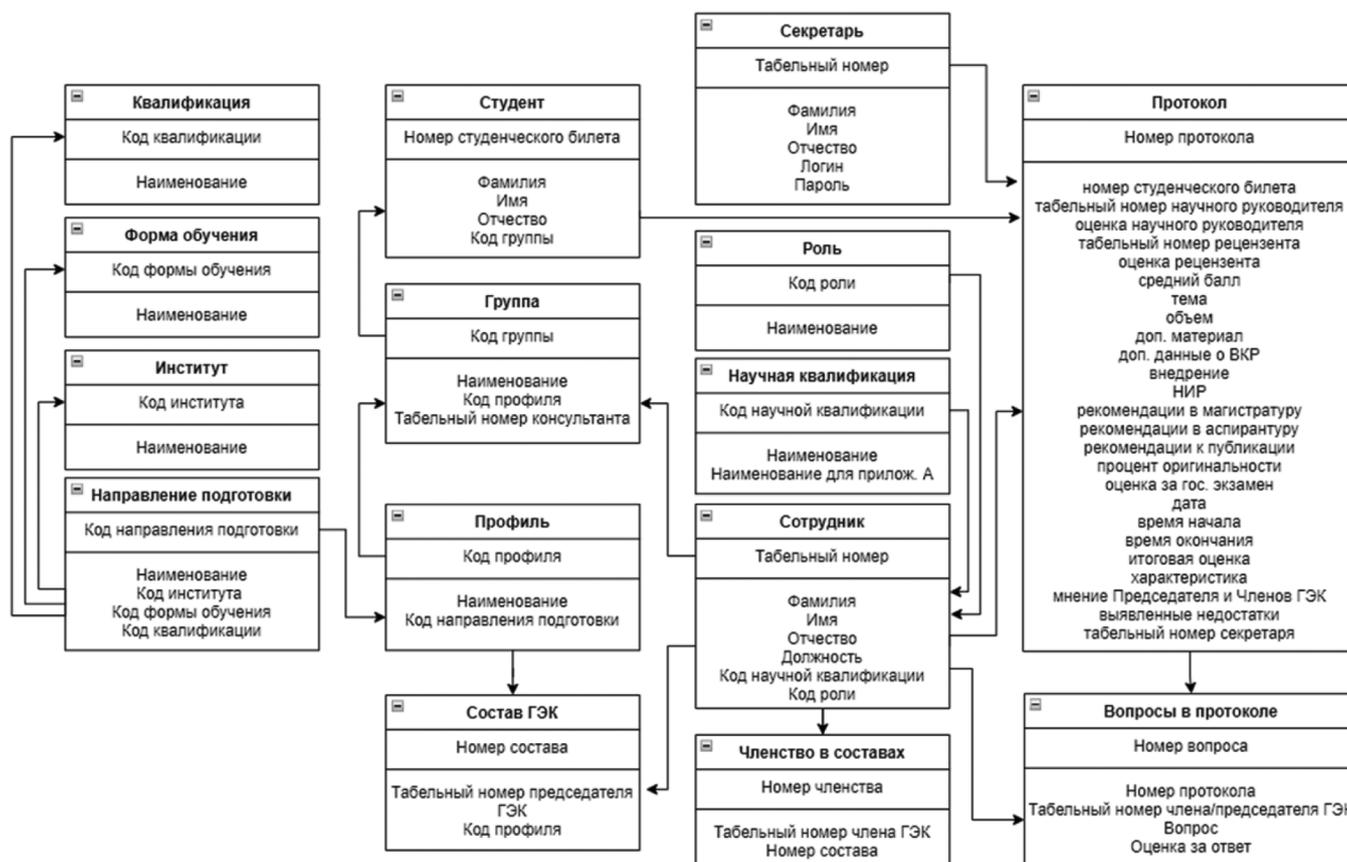


Рис. 3. Полученная схема отношений

В работе использована клиент-серверная архитектура. Фактически клиент и сервер — это программное обеспечение. Обычно эти программы расположены на разных ПК и взаимодействуют между собой через вычислительную сеть посредством сетевых протоколов [6].

Б. Интерфейс разработанной подсистемы

Рассмотрим интерфейс подсистемы. После успешной авторизации перед пользователем отображается главное окно приложения (рис. 5), на начальной вкладке которого представлено краткое описание основных вкладок приложения.

Для обеспечения функциональности работы с данными, каждая таблица представлена в отдельной вкладке. Для экспорта документа «Отчет председателя ГЭК» и «График защит» следует обратиться к вкладке «Документы» главного окна приложения и выбрать необходи-

мый документ. После чего сформированный документ открывается в приложении MS Word.

Ниже размещены скриншоты основных входных форм и выходных документов. На рис. 6 представлена вкладка «Студент». Основные данные подгружаются из ИС «Деканат» ЭИОС вуза.

Во вкладке «Группа», помимо основных атрибутов соответствующей таблицы, также сведены данные о профиле, направлении подготовки, институте, консультанте и квалификации.

Вкладка «Протоколы» (рис. 7) представлена множеством атрибутов, такими как: рег. номер, ФИО студента, группа, дата (дата защиты), профиль, направление подготовки, институт, ФИО научного руководителя.

Подсистема поддерживает импорт/экспорт csv-файлов.

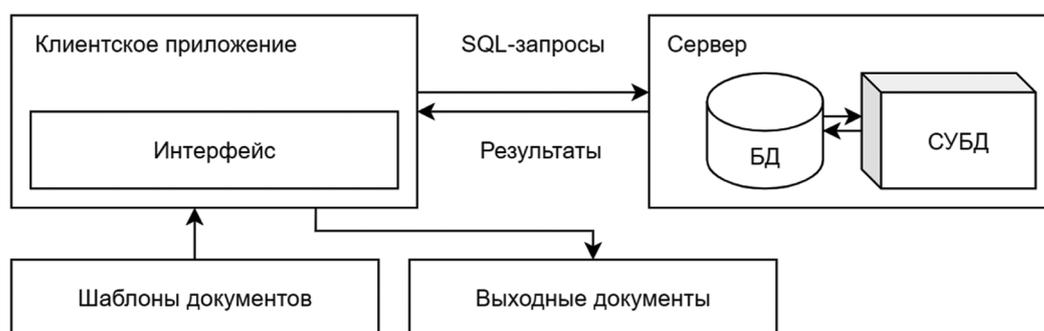


Рис. 4. Архитектура системы

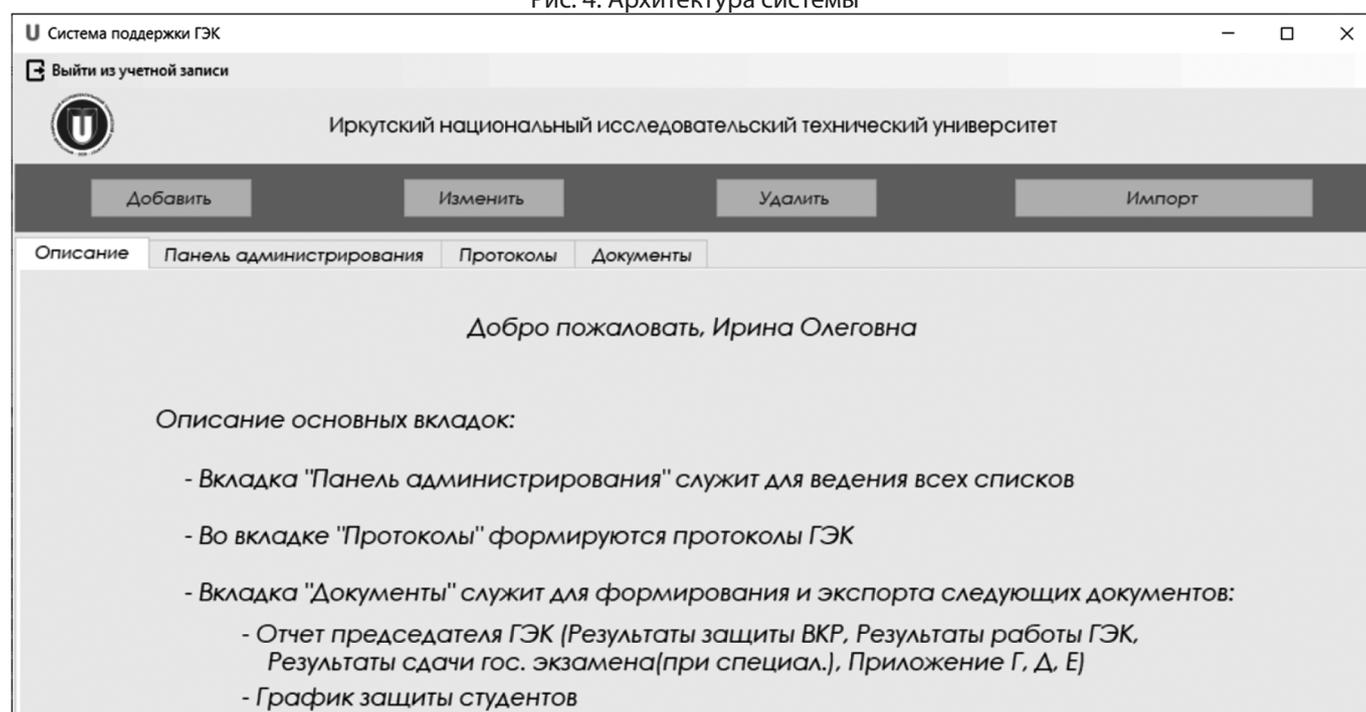


Рис. 5. Главное окно приложения

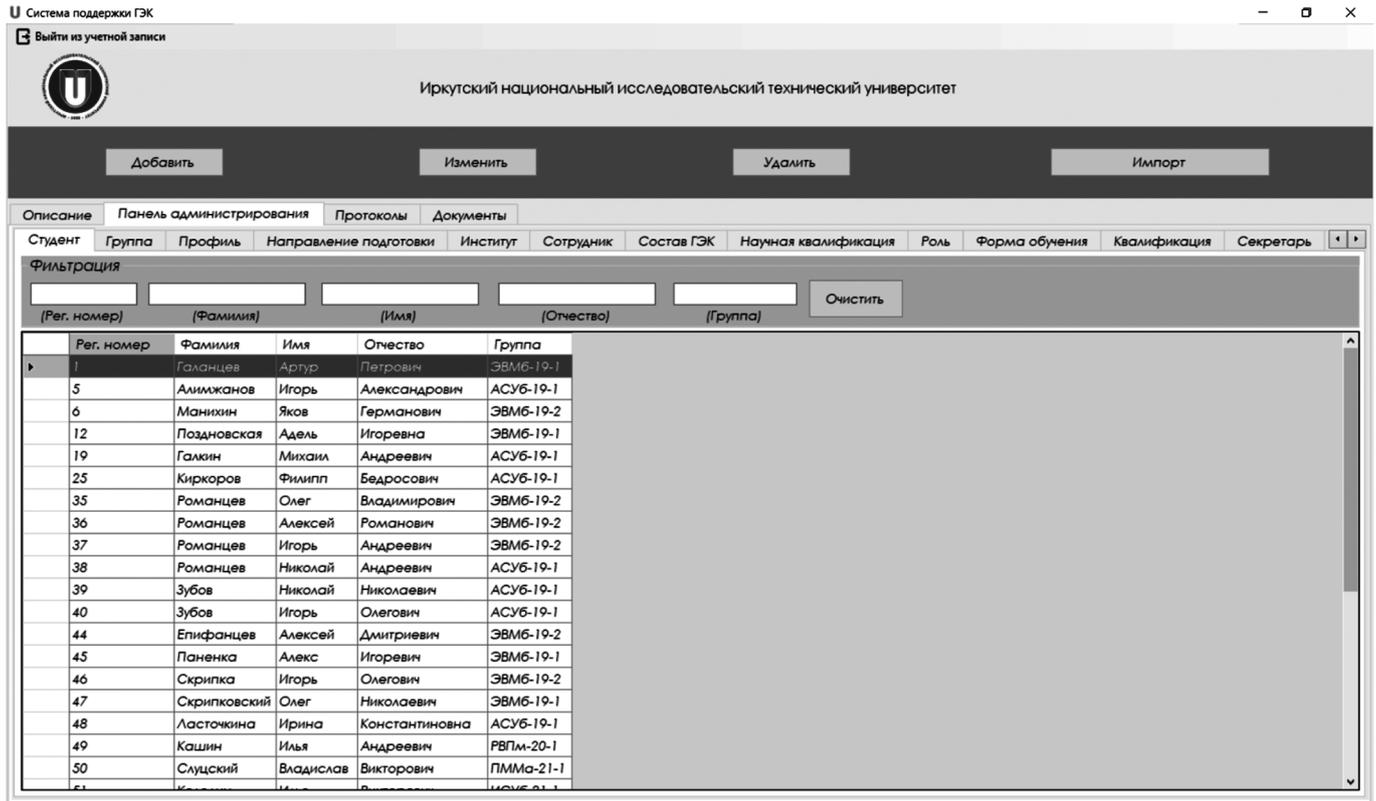


Рис. 6. Вкладка «Студент»

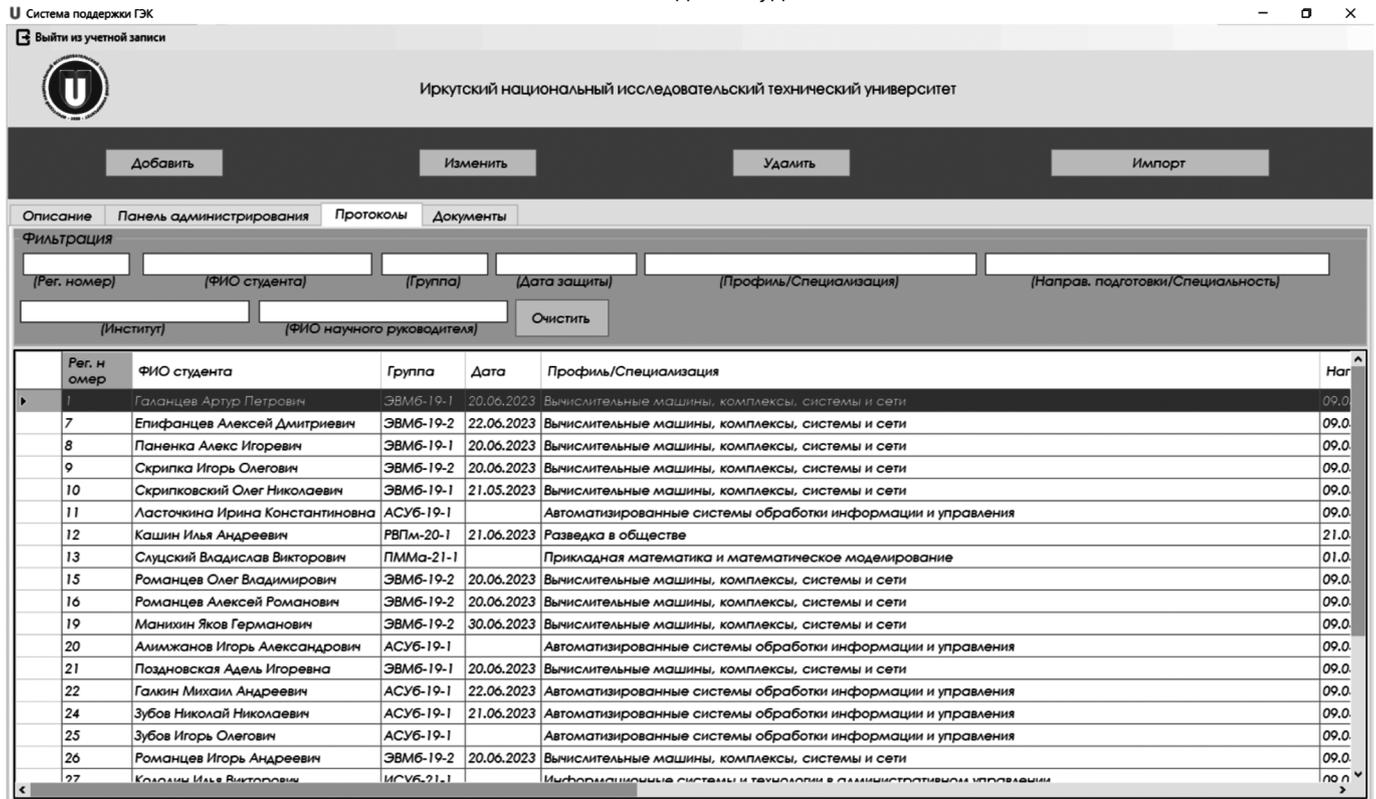


Рис. 7. Вкладка «Протоколы»

U Протоколы Редактирование протокола

Студент: Епифанцев Алексей Дмитриевич гр. ЗВМ6-19-2
 Науч. рук: Королев Илья Алексеевич долж. Сотруд. лабор. ИТ 4
 Средний балл: 4,68
 Процент оригинальности: 75,00 %
 Оценка за гос. экзамен: 5
 Дата и время: 22.06.2023 г. с 09:00 до 09:20

Тема: Разработка ПО для администратора
 Объем: 62 ЛИСТОВ
 Чертежи/таблицы/презентация к ВКР на: 2 ЛИСТАХ
 Место внедрения: _____
 Рецензент: Отсутствует Внутренний Внешний
 Заполнение протокола: Да Нет

Код	ФИО	Вопрос	Оценка
18	Махлаковский Алексей Константинович	Сколько времени вы потратили на разработку ПО?	5
19	Смольников Алексей Дмитриевич	Какой средой разработки вы пользовались?	4
20	Иванов Иван Иванович	Как вы собираетесь интегрировать вашу систему?	4
22	Махлаковский Алексей Константинович	Планируете ли вы дальше работать над данной системой?	5

Общая характеристика ответа обучающегося на заданные ему вопросы и отзыв руководителя: 4,4
 Признать, что обучающийся выполнил и защитил ВКР с оценкой 5
 Мнения председателя и членов ГЭК о выявленном в ходе государственного аттестационного испытания уровне подготовленности обучающегося к решению проф. задач
 Выявленные недостатки в теоретической и практической подготовке обучающегося: Недостатки в теоретической и практической подготовке не выявлены

Секретарь: Кудашевский Николай Александрович

Сохранить изменения Экспортировать Отмена/Подтвердить

Рис. 8. Форма «Редактирование протокола»

Протокол_Епифанцев_А_Д_ЗВМ6_19_2.docx - Word

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

ПРОТОКОЛ №
Заседания Государственной экзаменационной комиссии

« 22 » июня 2023 г. с 9 час. 00 мин. до 9 час. 20 мин.

по защите выпускной квалификационной работы (_____)
 обучающегося _____ Епифанцев Алексей Дмитриевич (фамилия, имя, отчество)

Институт (филиал): Институт информационных технологий и анализа данных

Форма обучения: Очная
 Код и наименование направления подготовки: 09.03.01 - Информатика и вычислительная техника

Наименование профиля: Вычислительные машины, комплексы, системы и сети
 на тему: Разработка ПО для администратора

Присутствовали:
 Председатель ГЭК: Махлаковский А. К., зав. каф. информ. ИТ и ИТ, чл. кор. АН, академик (Ф.И.О., должность, ученое звание, ученое звание)
 Члены ГЭК: Богданов Р. Н., соуп. лаб. систем, систем, доктор наук, профессор (фамилия И.О.); Горшенев М. А., Сотруд. лабор. ИТ, доктор наук, профессор (фамилия И.О.); Смольников А. Д., сотрудник тех. лабор., кандидат наук, профессор (фамилия И.О.); Князевский А. О., Сотруд. лабор. ИТ, доктор наук, профессор (фамилия И.О.); Иванов И. И., сотрудник тех. лабор., кандидат наук, профессор (фамилия И.О.)
 Научный руководитель: Королев И. А., Сотруд. лабор. ИТ, кандидат наук, доцент (Ф.И.О., должность, ученое звание, ученое звание)
 Консультант: Соколов И. А., зав. каф. информ. ИТ, кандидат наук, профессор (Ф.И.О., должность, ученое звание, ученое звание)

В Государственную экзаменационную комиссию представлены следующие материалы:
 1. Выпускная квалификационная работа объемом 62 листов.
 2. Чертежи/таблицы/презентация к выпускной квалификационной работе на 2 листах.
 3. Отзыв руководителя выпускной квалификационной работы (подпись)
 4. Справка о проверке на наличие неправомерных заимствований.

После сообщения о выполненной выпускной квалификационной работе обучающемуся были заданы следующие вопросы:
 Махлаковский А. К. Сколько времени вы потратили на разработку ПО? отлично (Ф.И.О. члена комиссии, название вопроса, вопрос, оценка)
 Смольников А. Д. Какой средой разработки вы пользовались? хорошо
 Иванов И. И. Как вы собираетесь интегрировать вашу систему? хорошо
 Махлаковский А. К. Планируете ли вы дальше работать над данной системой? отлично

Общая характеристика ответа обучающегося на заданные ему вопросы и отзыв руководителя: 4,4
 Какую подготовку обнаружил обучающийся по всем изученным дисциплинам 4,68 (ср. балл по учебн.)

Признать, что обучающийся выполнил и защитил выпускную квалификационную работу с оценкой отлично (подпись)

Присвоить Епифанцев Алексей Дмитриевич (Ф.И.О. обучающегося) квалификацию «бакалавр».
 Выдать диплом бакалавра: без отличия (с отличием/без отличия)

Мнения председателя и членов государственной экзаменационной комиссии о выявленном в ходе государственного аттестационного испытания уровне подготовленности обучающегося к решению профессиональных задач: Студент продемонстрировал глубокие знания и отличные навыки в исследуемой области, способность и умение самостоятельно решать задачи своей профессиональной деятельности

Выявленные недостатки в теоретической и практической подготовке обучающегося: Недостатки в теоретической и практической подготовке не выявлены

Председатель: Махлаковский А. К. (фамилия И.О.)
 Члены комиссии: Богданов Р. Н. (фамилия И.О.); Горшенев М. А. (фамилия И.О.); Смольников А. Д. (фамилия И.О.); Князевский А. О. (фамилия И.О.); Иванов И. И. (фамилия И.О.)
 Секретарь: Кудашевский Н. А. (фамилия И.О.)

Рис. 9. Результат экспорта документа «Протокол заседания ГЭК»

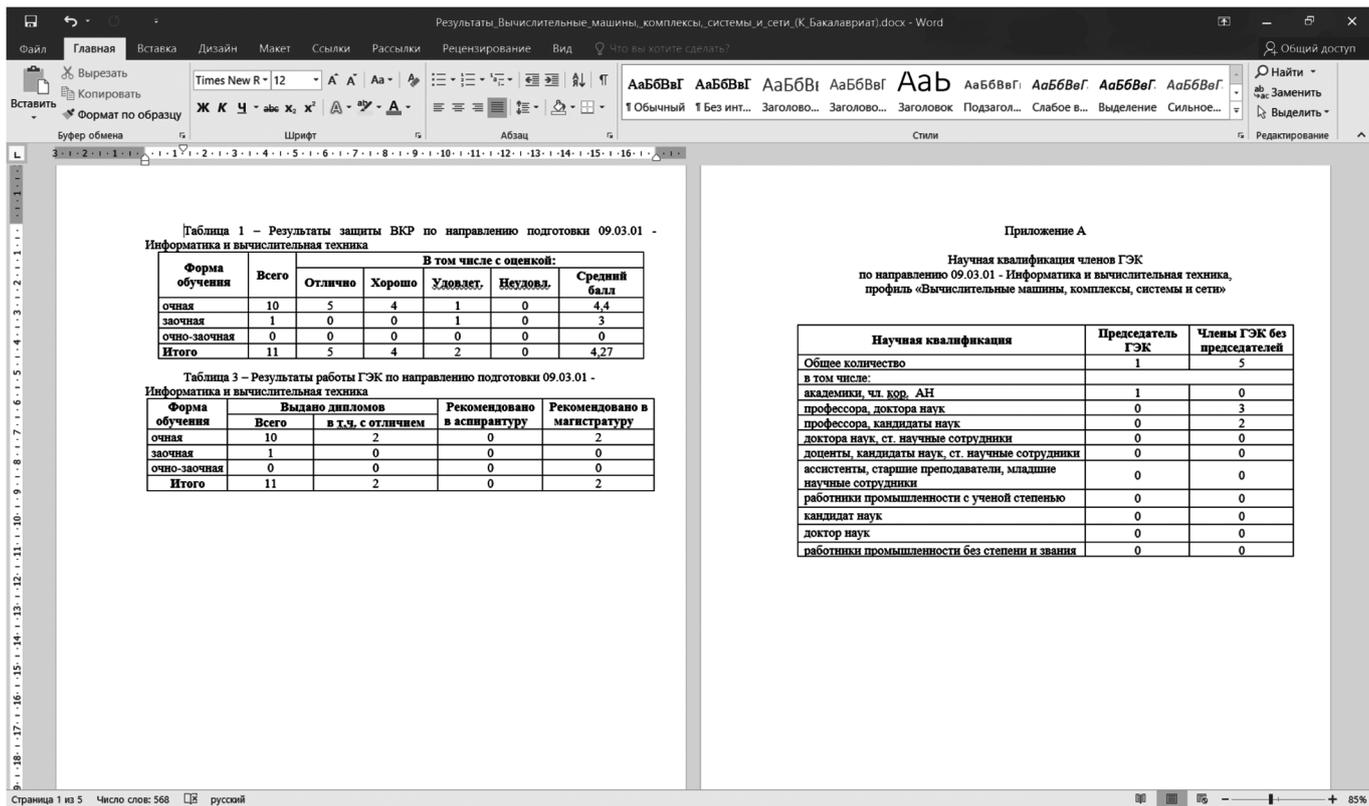


Рис. 10. Результат экспорта документа «Отчет председателя ГЭК» (таблица 1–3, приложение А).

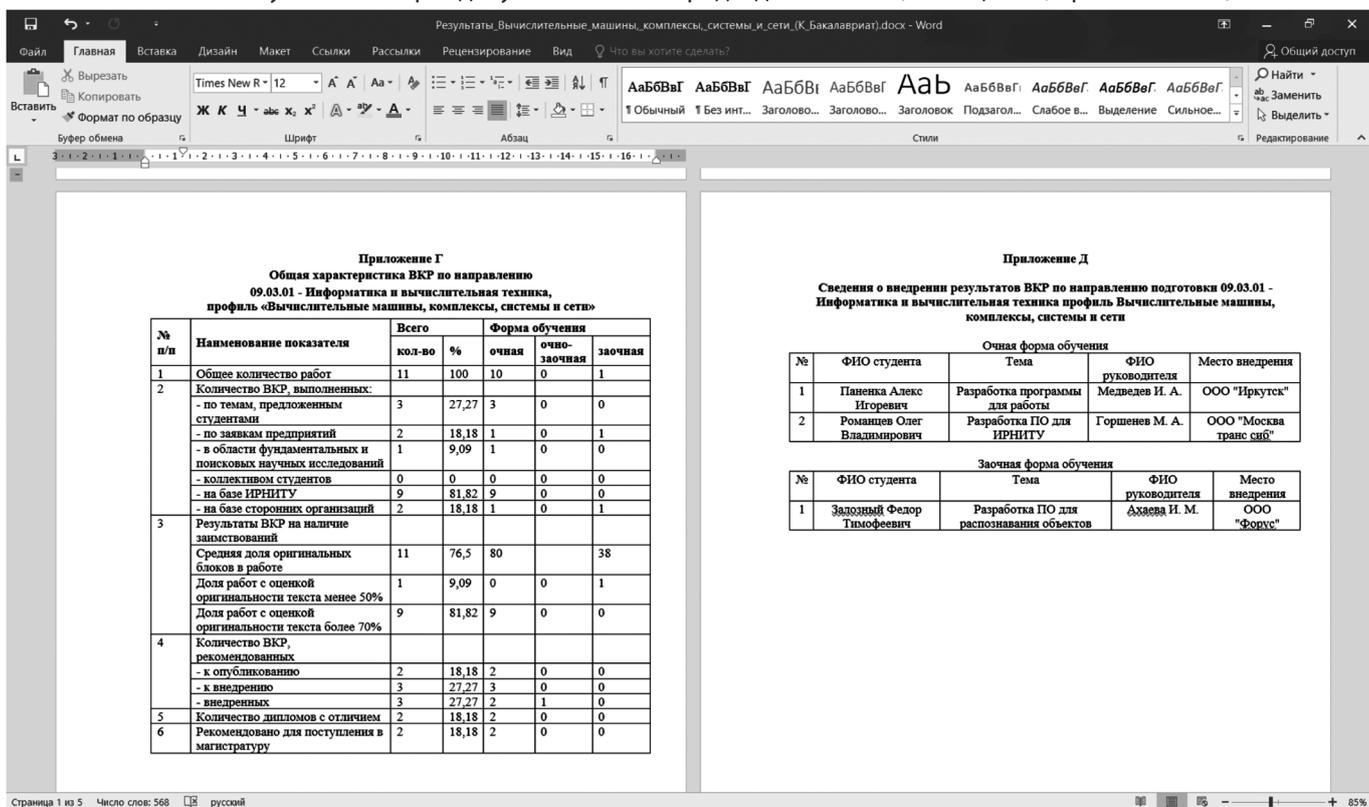


Рис. 11. Результат экспорта документа «Отчет председателя ГЭК» (таблица 1–3, приложение А)

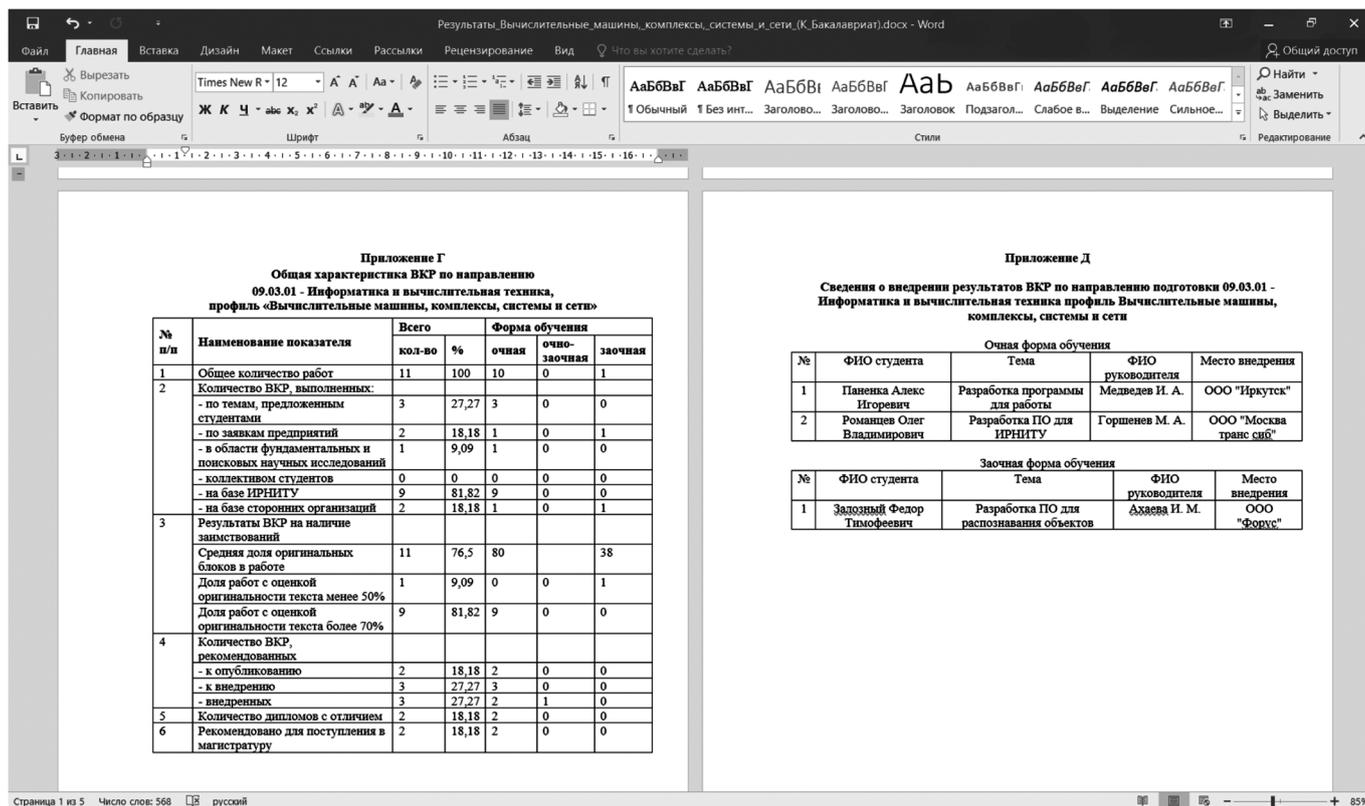


Рис. 12. Результат экспорта документа «Отчет председателя ГЭК» (приложение Г, Д)

На рис. 8 представлена форма «Редактирование протокола».

Выходными документами в системе являются: «Отчет председателя ГЭК», «График защиты», а также «Протокол заседания ГЭК», на рис. 9 — результат формирования двухстраничного протокола защиты.

Фрагмент сформированного отчета председателя ГЭК в формате MS Word изображен на рис. 10–12.

Исходя из результатов тестирования, сделан вывод о корректности работы программной системы.

Заключение

Представленная система является важным шагом в оптимизации работы ГЭК и повышении эффективности процесса защиты выпускной квалификационной работы.

Существует различные перспективы дальнейшего развития данной подсистемы: улучшение функциональности, оптимизация программного кода; повышение безопасности и надежности данных; разработка мобильного приложения в виде рабочего места члена ГЭК, которое позволит ему в режиме реального времени вводить через смартфон или планшет/ноутбук в систему задаваемые вопросы и выставлять оценку за ответы обучающегося.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по выполнению отчёта председателя государственной экзаменационной комиссии [Электронный ресурс] URL: <https://www.istu.edu/local/modules/doc/download/44730> (дата обращения: 11.05.2023).
2. MySQL Workbench [Электронный ресурс] URL: <https://www.mysql.com/products/workbench/>. (дата обращения: 20.05.2023).
3. Гольцман, В.И. MySQL 5.0. Библиотека программиста / В.И. Гольцман. — Тбилиси: Tbilisi State University, 2009. — 256 с.
4. Руководство по классическим приложениям (Windows Forms .NET) [Электронный ресурс] URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-7.0> (дата обращения: 10.05.2023).
5. Краткий обзор языка C# [Электронный ресурс] URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/> (дата обращения: 14.05.2023).
6. Буч, Г. Введение в UML от создателей языка / Г. Буч, И. Якобсон, Д. Рамбо. — Москва: ЛитРес, 2022. — 496 с.
7. Дatalogические модели данных [Электронный ресурс] URL: https://spravochnaya.com/7514_datalogicheskie-modeli-dannyh.html (дата обращения: 19.05.2023).
8. Клиент-серверная архитектура [Электронный ресурс] URL: https://vladislavermeev.gitbook.io/qa_bible/seti-i-okolo-nikh/klient-servernaya-arkhitektura-client-server-architecture (дата обращения: 25.05.2023).

© Волотовский Константин Тимофеевич (hunzer.kostya@gmail.com); Дорофеев Андрей Сергеевич (dorbaik@ex.istu.edu);
Баженов Руслан Иванович (r-i-bazhenov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СЕГМЕНТАЦИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С НЕСКОЛЬКИМИ МЕТКАМИ

MULTI-LABEL CHEST X-RAY ORGAN SEGMENTATION

**R. Dumaev
S. Molodyakov**

Summary. Organ segmentation on chest radiographs is an important task for accurate and reliable diagnosis of diseases of the lungs and chest organs. One important step for automated analysis of radiographs is to isolate the organ of interest from other less important parts to apply decision-making algorithms. This study proposes a method based on encoder decoder architecture with CNN residual blocks to define lung, heart, and clavicles regions. The effectiveness of the proposed architecture and the operations of augmentation and image processing during segmentation of organ areas on an X-ray image was evaluated.

Keywords: machine learning, convolutional neural networks, chest x-ray, pneumonia diagnostics, organ segmentation.

Думаев Ринат Ильгизович

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
dumaevrinat@gmail.com

Молодяков Сергей Александрович

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
molodyakov_sa@spbstu.ru

Аннотация. Сегментация органов по рентгенограммам грудной клетки является важной задачей для точной и надежной диагностики заболеваний легких и органов грудной клетки. Одним из важных шагов для автоматизированного анализа рентгенограмм является изоляция интересующего органа от других менее важных частей для применения алгоритмов принятия решений. В этом исследовании предложен метод на основе архитектуры кодер-декодера со сверточными остаточными блоками для определения областей легких, сердца и ключицы. Была оценена эффективность предложенной архитектуры и операций аугментации и обработки снимков при сегментации областей органов на рентгеновском снимке.

Ключевые слова: машинное обучение, сверточные нейронные сети, рентгенограмма грудной клетки, диагностика пневмонии, сегментация органов.

Введение

Рентгенография органов грудной клетки — диагностический метод выявления патологических изменений в грудной клетке, органах грудной полости. Рентгеновские снимки грудной клетки остаются наиболее часто используемым методом медицинской визуализации, а их автоматический анализ может значительно снизить стоимость диагностики и потенциально улучшить диагностическую точность. Важным этапом компьютерного анализа рентгенограмм является автоматизированная сегментация органов грудной клетки.

В работе [1] провели всесторонний обзор по этой теме и продемонстрировали, что сегментация рентгеновских снимков является активной темой исследований и такая сегментация может значительно облегчить точную диагностику и количественную оценку патологий грудной клетки. Так, плевральный выпот и эмфизема искажают внешний вид легкого и могут быть диагностированы по сегментации легочного поля.

Комбинированная сегментация органов для рентгенографии предоставляет возможность ранней диагностики гипертонии, атеросклероза сосудов сердца, автоматической оценки кардиомегалии и диагностики других патологий сердца [2, 3]. Сегментация ключиц может улучшить обнаружение патологических структур,

которые визуально находятся в верхушечном сегменте легкого. Измерение формы и размеров легких является шагом к локализации легочных узелков и других аномалий [4].

В этой работе мы предлагаем метод для сегментации органов на рентгенограмме на основе модели кодер-декодера, которая адаптирована для сегментации нескольких органов по одному входному снимку. Вместо обычных сверточных блоков мы используем остаточные сверточные блоки для более эффективного обучения и достижения лучшей производительности, морфологические операции, и дополнительные операции аугментации снимков и добавление шумов для предотвращения переобучения разработанной модели.

Рассмотрение известных решений сегментации нескольких органов по рентгенограмме

Область автоматической сегментации рентгенограмм была значительно облегчена с выходом общедоступной базы данных JSTR [5] и ручной сегментации, выпущенной в рамках работы [6], в которой была сравнена эффективность существующих методов сегментации на основе формы и интенсивности. Были предложены различные подходы на основе глубокого обучения для сегментации и оценены на наборе данных JSTR, при этом коэффициент Жаккара достиг 0.959 для сегментации областей легкого [7–9].

Основные алгоритмы можно разделить на две группы: model-based и rule-based методы, методы на основе глубокого обучения. К первой можно отнести алгоритмы atlas-based, Active Shape Model и Active Appearance Model, в основе которых лежит анализ и выделение примитивных форм из изображения, их выравнивание и нормализация, чтобы учесть вариации формы. С последующим применением методов статистического анализа, таких как метод главных компонент. Однако при использовании таких алгоритмов могут возникнуть погрешности на генеральной выборке.

Алгоритмы на основе глубоких сверточных моделей имеют более широкое применение, основной архитектурой является U-Net, в основе которой кодировщик, состоящий из сверточных и пулинговых слоев и декодировщик, состоящий из транспонированных сверточных слоев.

Тем не менее, проблема сегментации по-прежнему остается серьезной проблемой из-за большого разнообразия анатомической формы, контраста границ и перекрытия между несколькими органами.

Большинство работ ограничиваются решением проблемы сегментации только одного специфичного органа, чаще всего легких на рентгенограмме грудной клетки. При этом решение проблемы сегментации одновременно нескольких органов по одному рентгеновскому снимку может быть лучше, чем решение проблемы сегментации одного конкретного органа, поскольку алгоритм получает больше контекстной информации во время обучения обо всех органах в обучающей выборке.

Реализация алгоритма определения областей органов по рентгеновским снимкам

Рассмотрим разработанное решение сегментации органов с помощью улучшенной модели кодер-декодер с использованием остаточных блоков и морфологических операций, которая адаптирована для сегментации нескольких органов по одному входному снимку.

Набор данных. Для обучения модели сегментации и разработки алгоритма был выбран набор данных от Japanese Society of Radiological Technology и набор

масок для каждого органа от Image Sciences Institute Segmentation of Chest Radiographs. Набор данных JSRT состоит из 247 задне-передних изображений рентгенограмм с узлами в легких и без них с разрешением 2048×2048 пикселей и размером пикселя 0.175 мм. Пример рентгенограммы и соответствующих сегментов органов представлены на рис. 1.

Предварительная обработка рентгенограмм и постобработка сегментов органов. Методы предварительной обработки изображений являются одним из важнейших этапов в сегментации органов, поскольку данные снимки могут иметь различную контрастность, что затрудняет дальнейшее определение областей органов [10]. Для решения этой проблемы необходимо применить методы аугментации и улучшения изображений, которые позволили расширить обучающую выборку и уменьшить вероятность переобучения модели, что особенно актуально при использовании набора данных JSRT.

Была реализована адаптивная коррекция гистограммы с ограничением контраста, случайное добавление шума, случайный сдвиг и расширение изображения по горизонтали и вертикали с коэффициентом от 0.8 до 1.2, случайный поворот от -15° до $+15^\circ$. Каждая операция аугментации применялась с заданной вероятностью, значение которой устанавливалось как гиперпараметр при обучении моделей. С целью исключения некоторых артефактов и нечеткого контура на выходе модели, то есть для улучшения сегментов каждого органа, была реализована постобработка масок, основанная на морфологических операциях — применение операций размывания и замыкания, которые помогли удалить возможные артефакты и шумы, возникающие в результате работы глубокой нейронной сети.

Архитектура нейронной сети. Для сегментации областей легкого, сердца и ключицы на рентгенограммах грудной клетки была выбрана архитектура сверточной нейронной сети кодер-декодер, состоящая из остаточных сверточных блоков и адаптированная для сегментации нескольких органов по одному входному снимку. Архитектура модели представлена на рис. 2.



Рис. 1. Рентгенограмма и области легких, сердца, ключицы

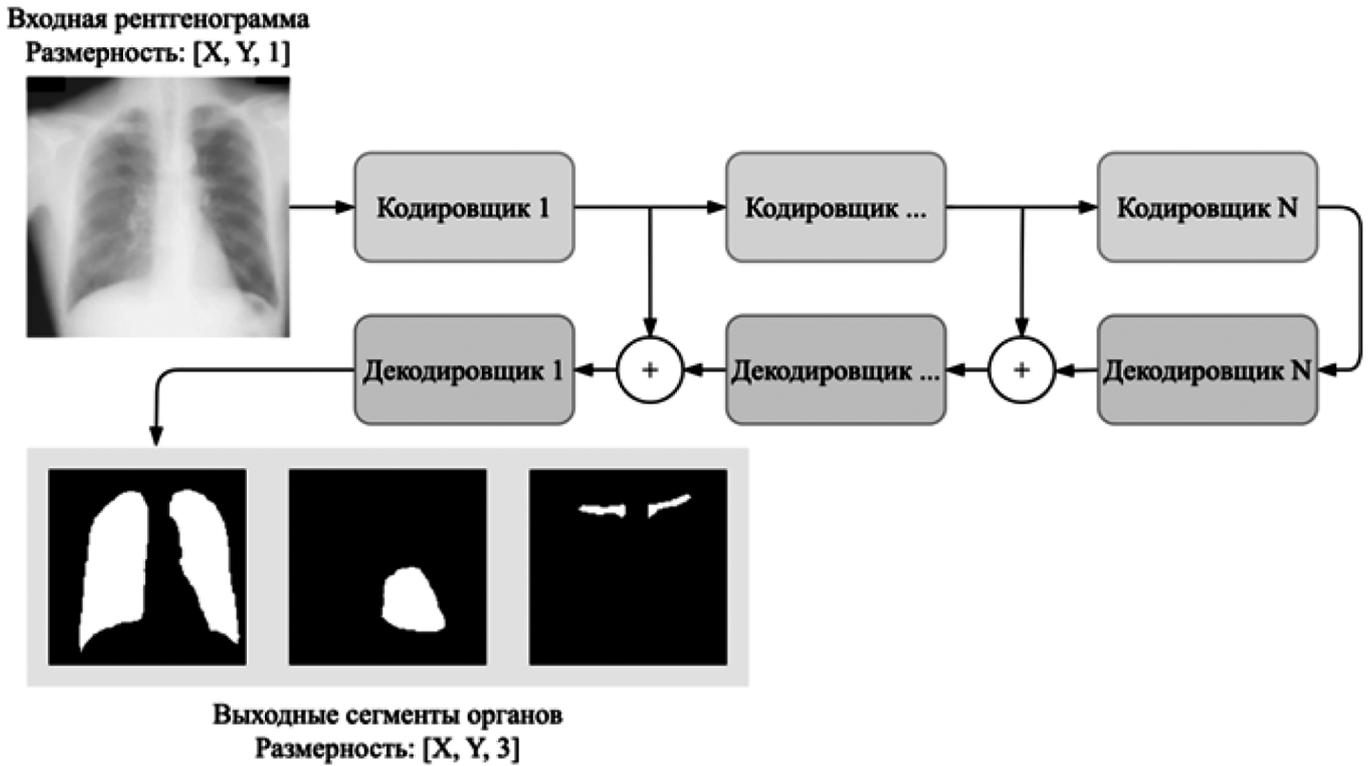


Рис. 2. Архитектура модели для сегментации органов

При этом каждый блок кодировщика и декодировщика был реализован в виде остаточного Residual сверточного слоя. Каждый такой блок состоит из Conv2D слоя, Batch Normalization, слоя активации ReLU, связывающего skip-connection слоя и суммирующего слоя. Это позволяет снизить проблему затухания градиентов при обучении модели, извлекать сложные признаки и достигать лучшей производительности.

Обучение модели. Для обучения и оценки точности модели была введена функция потерь в виде коэффициента Дайса, который показывает меру сходства предсказанного сегмента и ground truth разметки.

$$\text{Dice}(A, B) = 2(A \cap B) / (A + B), \tag{1}$$

где A и B — множества пикселей предсказанного сегмента и ground truth разметки.

В качестве основной метрики был использован коэффициент Жаккара, который определяется как отношение пересечения и объединения истинной и предсказанной области.

$$\text{Jaccard}(A, B) = (A \cap B) / (A \cup B), \tag{2}$$

где A и B — множества пикселей предсказанного сегмента и ground truth разметки.

Разрешение изображений и маски сегментации органов были уменьшены до 512 × 512 пикселей. В качестве

оптимизатора был использован Adam с параметрами по умолчанию, скорость обучения lr = 0.001, batch size = 16. Во время обучения скорость обучения уменьшается в 2 раза, если значение функции потерь при проверке не уменьшается в течение 2 эпох на валидационной выборке. При этом каждый снимок проходил предварительную обработку и к каждой соответствующей маске была применена постобработка с помощью морфологических операций.

Тестирование и результаты

Для обучения моделей и проведения экспериментов была использована платформа Google Colaboratory. При этом качество сегментации оценивалось путем вычисления коэффициента Жаккара по отношению к соответствующим маскам истинности для каждого органа.

Таблица 1.

Сравнение значений коэффициента Жаккара для различных методов на наборе данных JSRT

Метод	Легкие	Сердце	Ключица
ASM & AAM [6]	0.927	0.814	0.734
Multi-task FCN [7]	0.959	0.899	0.863
FCN-DAL [8]	0.951	0.893	–
Наш метод с предобработками	0.951	0.922	0.899
Наш метод с остаточными блоками	0.969	0.931	0.905

В таблице 1 показаны результаты сегментации, достигнутые предложенными методами на наборе данных JSRT, где мы сравнили различные архитектуры и подходы как на основе архитектуры с использованием остаточных сверточных блоков, так и с использованием только предобработок и стандартной архитектуры кодер-декодер.

Наилучшей архитектурой была архитектура на основе остаточных сверточных блоков, который достиг самого высокого среднего коэффициента Жаккара для каждого наблюдаемого органа. Для сегментации области легкого 0.969, для области сердца 0.931 и ключицы 0.905.

Заключение

Таким образом разработан и предложен алгоритм, который определяет области одновременно несколь-

ких органов по одному рентгеновскому снимку. Разработанный алгоритм за счет использования сочетание нескольких операций предобработки и постобработки, а также применение глубокой нейронной сети с остаточными сверточными блоками, устойчив к переобучению на ограниченном наборе данных.

Продемонстрировано, что метод на основе нескольких операций предобработки, постобработки для улучшения качества полученных сегментаций и глубокой сети архитектуры кодера-декодера вместе с остаточными сверточными блоками способен точно сегментировать органы на основе рентгеновских снимков грудной клетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Candemir S., Antani S. A review on lung boundary detection in chest X-rays // *International journal of computer assisted radiology and surgery*. — 2019. — Т. 14. — С. 563–576.
2. Candemir S., Jaeger S., Lin W., Xue Z., Antani S. Automatic heart localization and radiographic index computation in chest x-rays // *Medical Imaging 2016: Computer-Aided Diagnosis*. — SPIE, 2016. — Т. 9785. — С. 302–309.
3. Finnegan R., Dowling J., Koh E. S., Tang S., Otton J. Feasibility of multi-atlas cardiac segmentation from thoracic planning CT in a probabilistic framework // *Physics in Medicine & Biology*. — 2019. — Т. 64. — №. 8. — С. 085006.
4. Gordienko Y., Gang P., Hui J., Zeng W., Kochura Y., Alienin O. Deep learning with lung segmentation and bone shadow exclusion techniques for chest X-ray analysis of lung cancer // *Advances in Computer Science for Engineering and Education 13*. — Springer International Publishing, 2019. — С. 638–647.
5. Shiraishi J., Katsuragawa S., Ikezoe J., Matsumoto T. Development of a digital image database for chest radiographs with and without a lung nodule: receiver operating characteristic analysis of radiologists' detection of pulmonary nodules // *American Journal of Roentgenology*. — 2000. — Т. 174. — №. 1. — С. 71–74.
6. Van Ginneken B., Stegmann M.B., Loog M. Segmentation of anatomical structures in chest radiographs using supervised methods: a comparative study on a public database // *Medical image analysis*. — 2006. — Т. 10. — №. 1. — С. 19–40.
7. Wang C. Segmentation of multiple structures in chest radiographs using multi-task fully convolutional networks // *Image Analysis: 20th Scandinavian Conference, SCIA 2017, Tromsø, Norway, June 12–14, 2017, Proceedings, Part II 20*. — Springer International Publishing, 2017. — С. 282–289.
8. Bi L., Feng D., Kim J. Dual-path adversarial learning for fully convolutional network (FCN)-based medical image segmentation // *The Visual Computer*. — 2018. — Т. 34. — С. 1043–1052.
9. Mittal A., Hooda R., Sofat S. LF-SegNet: A fully convolutional encoder–decoder network for segmenting lung fields from chest radiographs // *Wireless Personal Communications*. — 2018. — Т. 101. — С. 511–529.
10. Думаев Р.И., Киряков И.М., Молодяков С.А. Особенности предобработки и сегментации изображений в задаче обнаружения COVID-19 по рентгеновским снимкам // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2022— №. 9. — С. 88–95.

© Думаев Ринат Ильгизович (dumaevrinat@gmail.com); Молодяков Сергей Александрович (molodyakov_sa@spbstu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

THE INTELLIGENT INFORMATION SUPPORT OF DECISION-MAKING ON THE DEVELOPMENT OF HUMAN RESOURCES POTENTIAL OF AN INNOVATIVE ENTERPRISE

D. Evsyukov

Summary. The work is devoted to the problem of managing the human resource potential of an innovative enterprise in the digital economic environment. The aim of the work is to improve the information apparatus and decision support tools for the organization of retraining and advanced training of innovative enterprises, based on the identified potential in group retraining. Decisions are made on the basis of incomplete information and the use of deep learning neural networks with genetic tuning of parameters. The developed software tool is a modular structure that provides full instrumental support at all stages of the decision-making process in the management of industrial training.

Keywords: innovative enterprise; personnel management; professional development; decision support; system analysis; machine learning.

Евсюков Дмитрий Юрьевич

*Аспирант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет;
Руководитель лаборатории «Цифровые платформы
поддержки инженерных решений»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
evsjob@yandex.ru*

Аннотация. Работа посвящена проблеме управления кадровым потенциалом инновационного предприятия в условиях цифровой экономической среды. Целью работы является совершенствование информационного аппарата и средств поддержки принятия решений по организации переобучения и повышения квалификации инновационных предприятий, на основе выявленного потенциала при групповом переобучении. Решения принимаются на основе неполной информации и использования нейронных сетей глубокого обучения с генетической настройкой параметров. Разработанное программное средство представляет собой модульную структуру, обеспечивающую полноценную инструментальную поддержку на всех этапах процесса принятия решений при управлении производственным обучением.

Ключевые слова: инновационное предприятие; управление персоналом; повышение квалификации; поддержка принятия решений; системный анализ; машинное обучение.

Введение

Современное корпоративное развитие требует всестороннего исследования и выбора эффективной модели информационной поддержки предприятия, способной оптимизировать управление персоналом, развивать человеческие ресурсы и обеспечивать эффективную работу организации [1,2]. В контексте кадрового обеспечения инновационной экономики важными ее составляющими являются корпоративные человеческие ресурсы, технологии больших данных [3] и оптимизация конфигураций человеческих ресурсов для гибкой их реконфигурации [4]. Анализ данных и статистических показателей позволяет выявить потребности в определенных кадровых категориях и оптимизировать процессы подбора и обучения персонала. При этом, важно не только учитывать текущие потребности компании, но и прогнозировать будущие требования, связанные с внедрением новых технологий и развитием отрасли [5, 6]. Системный анализ помогает понять взаимосвязи между различными элементами в системе управления персоналом. Управление информацией играет ключевую роль в современном мире, особенно в контексте кадрового обеспечения. Средства доступа к актуальным и точным данным о персонале [7], их на-

выках, потенциале, образовании и опыте работы помогает лучше понять потребности компании и принимать обоснованные решения по управлению [1]. Применение соответствующего инструментария для правильного использования информации на основе сформированных трендов способствует оптимизации бизнес-процессов, созданию эффективных программ обучения и развития персонала [8].

Методы исследования

Сложность интеллектуальной поддержки принятия решений в области человеческого капитала инновационных предприятий и его многогранный характер обуславливают большое количество подходов к его оценке, преимущественного носящих теоретический характер. Основой применения методологии является системный анализ и статистика, как научные методы исследования функций инновационных организаций [9, 10] по управлению знаниями. В рамках исследования предлагается комплексный подход оценки такого инновационного потенциала предприятий на основе разработанного инструментария, позволяющего провести диагностику существующего состояния уровня компетентности и сформировать карту группового распределения с при-

менением технологических подходов объяснимого искусственного интеллекта (ХАИ) на основе активационных карт. В процессе исследования были использованы количественные и качественные методы сбора и анализа данных и информации; методы аналитического, ситуационного анализа и синтеза, методы сравнительного анализа и методы принятия управленческих решений.

Полученные результаты

Основной функцией системы интеллектуальной поддержки принятия решений является выбор фрагментов образовательных траекторий при групповом обучении для каждого работника, определении факторов, влияющих на эффективность общего распределения и прогнозирования оптимального \ рационального развития в интересах организации. Задача решается с применением методов классификации, комбинаторных методов и эвристической аппроксимации. В исследовании был использован язык программирования Python, вместе с его стандартными библиотеками, такими как NumPy, Pandas, SciPy, Scikit-learn, Numpy и др, а также интегрированная среда разработки PyCharm. NumPy предоставляет мощные функции линейной алгебры и мате-

матических операций. Pandas обеспечивает удобную работу с табличными данными, включая анализ, фильтрацию и объединение данных. Scikit-learn выбран с целью реализации интеллектуального анализа данных и предоставляет алгоритмы для управления процессами и формирования гипотез принятия решений. Для визуализации многомерных массивов данных применены библиотеки Plotly, Seaborn, Vokeh и другие.

Модульная структура системы включает шесть подсистем и представлена на рисунке 1.

Представленная совокупность программных компонентов считается эффективным инструментом для мониторинга производственного обучения (ПП и ПК). Предложенный подход основан на автоматизированном поиске весовых коэффициентов [11] и формировании отчетов, графиков анализа развития компетенций для принятия решений о распределении работников в оптимальные и рациональные группы. Схема взаимодействия моделей представлена на рисунке 2.

В данном исследовании проводилась работа с базой данных производственных предприятий, курсов и до-



Рис. 1. Структура компонентов системы поддержки принятия решений в производственном обучении (ИСППР РОС)

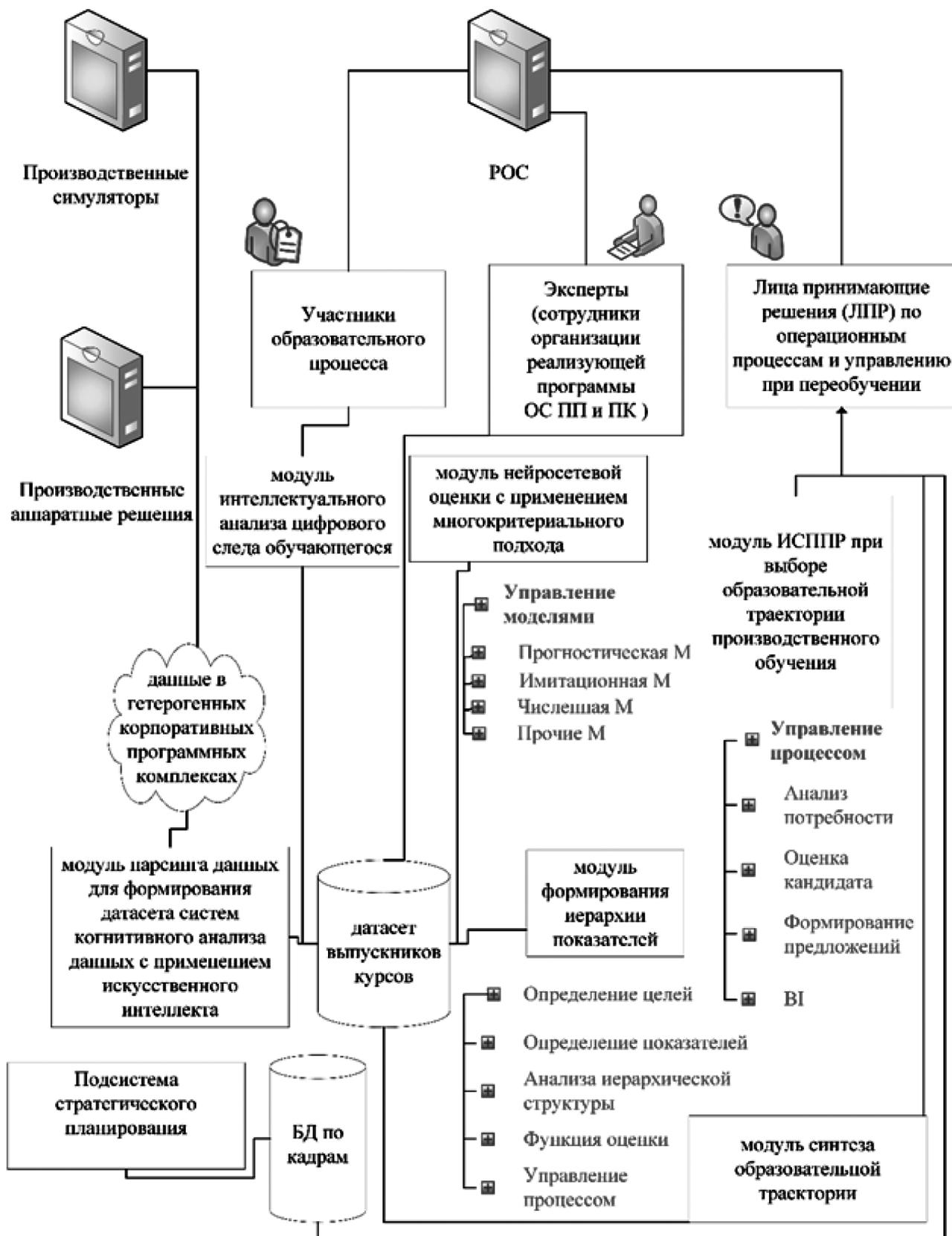


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия компонентов ИСППР

стижений сотрудников. Общее количество записей составило около 1,7 млн за год.

Для формирования датасета мы отбирали записи с учетом признаков скорости реакции обучающихся, отклика на образовательные события, заинтересованности и результативности в образовательных модулях.

Данные были предварительно обработаны, проиндексированы по дате события и отсортированы.

Следующий инструмент — модуль парсинга, который фокусируется на обучающихся/работниках, являющихся объектом анализа в рамках процесса функционирования ИСППР ПП и ПК. Основной задачей этого модуля является сбор информации о успеваемости обучающихся, оценке освоенности знаний и уровня компетентности, выраженных в элементах: знаний, умений и навыков. Для достижения целей парсинга предлагается использовать нейросетевую технологию формирования оценок с многокритериальным подходом, описанным в статье [4], который обеспечивает более объективные результаты, чем стандартные методы, такие как средний балл или количество неудовлетворительных оценок.

На следующем шаге анализа применяется модуль формирования иерархии показателей для ПП и ПК квалификации, обладающий инструментарием ансамблирования LSTM сети для определения весовых коэффициентов отношений между освоенностью образовательной программы и компетентными элементами (знать, уметь, владеть). Этот подход обеспечивает интерпретируемость результатов на разных уровнях иерархии и достигается многоэтапным подходом с выводом хранимых коэффициентов последовательностей ячеек памяти. Структура иерархии строится с учетом углубления специализации для определения ключевых идентификаторов из соответствующих отношений кортежей и значений атрибутов базы данных. Структура слоев LSTM сети представлена на рисунке 3.

Для оптимизации параметров модели ансамбля LSTM сетей, применяемых в классификации компетенций на основе оценок модулей, в данном исследовании используется эволюционный алгоритм. Процесс включает комбинацию параметров модели в популяции индивидуумов. Лучшие индивидуумы выбираются для следующего поколения с помощью турнирной селекции. Затем происходит размножение и мутация, чтобы получить новое потомство, комбинируя генетический материал от родительских индивидуумов. Замена предыдущей популяции происходит после каждого поколения, и шаги повторяются до достижения заданного числа поколений. 200–250 поколений.

В конце процедуры, выбирается индивидуум с наилучшей точностью модели, который представляет оп-

тимальные параметры LSTM сетей для данной задачи, рисунок 4.

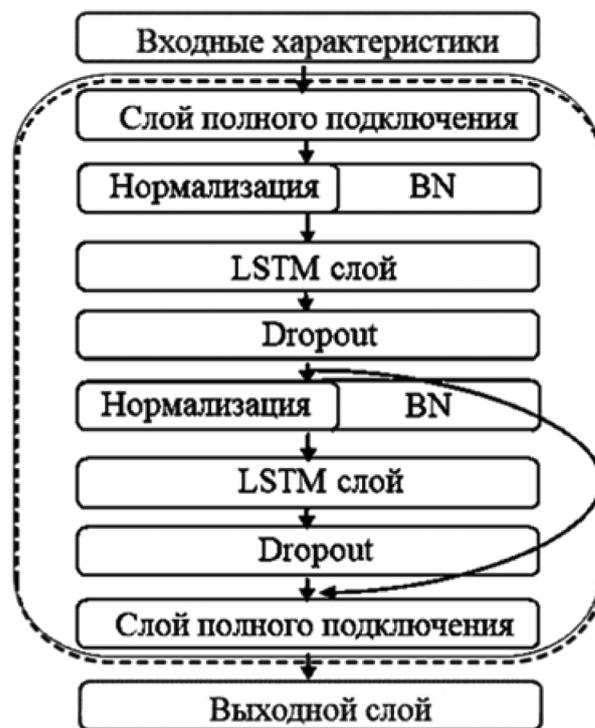


Рис. 3. Структура слоев LSTM сети

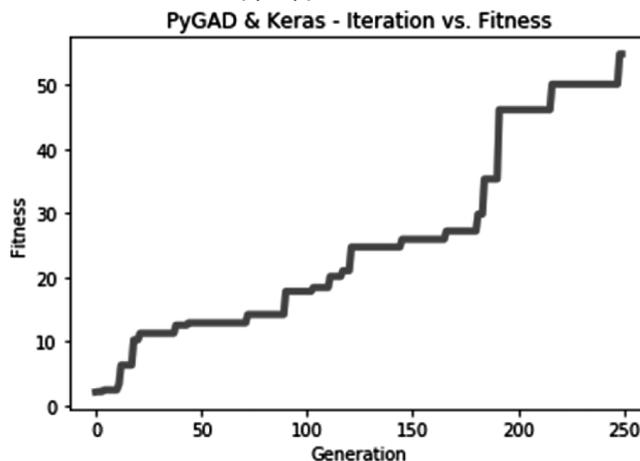


Рис. 4. Графическое представление результатов экспериментов по определению требуемого количества поколений алгоритма Холланда при генетической настройке параметров LSTM сети

Компонент ансамблевой структуры LSTM сети, с оптимальными параметрами, определенными с помощью генетического алгоритма (ГА) представлена на рисунке 5.

Для поддержания объяснимости сформированных решений, что актуально для чувствительных областей, таких как образовательный процесс, с учетом применения технологий искусственного интеллекта, был применён метод XAI, представляющий визуализации акти-

вазии LSTM моделей с использованием активационных карт. Эта интерактивная визуализация построенная на цветовой схема «jet», где цвета представляют уровень активации нейронов по вертикальной оси и временные шаги по горизонтальной оси, яркость цвета указывает на силу активации нейрона, что позволяет интерпретировать и понять, какие узлы и нейроны в сети активируются в разные моменты времени.

Для оценки предложенного в статье подхода и эффективности применения разработанного инструментария, проводился эксперимент, в рамках которого случайным образом созданы выборки, включающие различные наборы сотрудников (обучающихся) и профилей групп с углубленной специализацией, сформированы выборки из различных наборов сотрудников и групп с углубленной специализацией с численностью работников 50 и 100, объемом групп 5 и 10.

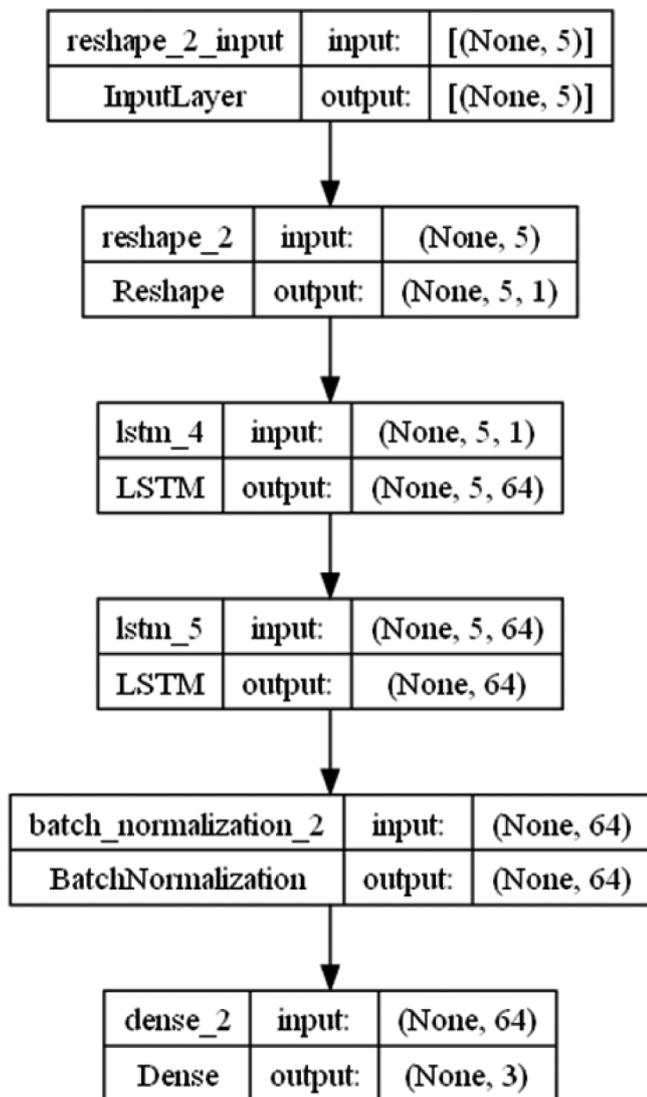


Рис. 5. Компонент ансамблевой структуры LSTM с оптимальными параметрами, определенными с помощью генетического алгоритма (ГА)

В результате эксперимента обнаружено, что при большом числе работников и групп, для назначения на узкоспециализированную группу лучше применять оптимальное решение, в соответствии в разработанным модифицированным Венгерским алгоритмом, учитывающим особенности неравенства позиций профилей и количества выпускников, обеспечивая более точные результаты, но требующем времени на расчеты (рисунокб). При сохранении количества работников в пределах 50 до 100 и удвоении количества групп, целесообразно применить рациональный подход, который все еще обеспечивает достаточную надежность не менее 90 %, но позволяет сократить временные рамки реагирования в пределах 53–75 %, от базовых значений, что актуально в динамичных условиях производственной среды. Результаты эксперимента по 10 группам в части создания инструментария интеллектуальной информационной поддержки принятия решений по развитию кадрового потенциала инновационного предприятия, представлены на рисунке 7.

Заключение

Разработанная система ИСППР осуществляет сбор и хранение информации, необходимой для проведения анализа и интеллектуальной информационной поддержки принятия решений по развитию кадрового потенциала инновационного предприятия. При этом полученные данные обрабатываются с использованием разработанных моделей и алгоритмов, которые базируются на нейросетевых и эволюционных подходах. Одной из главных особенностей системы является возможность объективной оценки уровня компетенций сотрудников на контрольных точках производственного курса.

Учитывая долгосрочные и краткосрочные динамические тенденции, групповую структуру оценки, был проведен вычислительный эксперимент по моделированию образовательных траекторий на производственных инновационных предприятиях на платформе крупного образовательного провайдера, подтвердивший достоверность и высокую степень надежности, составляющую не менее 90%, по формированию предложений оптимального (Венгерский алгоритм) \ рационального (метод Фогеля) распределения сотрудников на узкоспециализированные направления, отвечающие адекватным образом ценности данной позиции для работодателя.

В дальнейших исследованиях планируется расширить набор методов исследования, рассмотреть примеры реализации, тенденции и будущие перспективы данной области, влияние сформированных управляющих воздействий на эффективность развития кадрового потенциала.

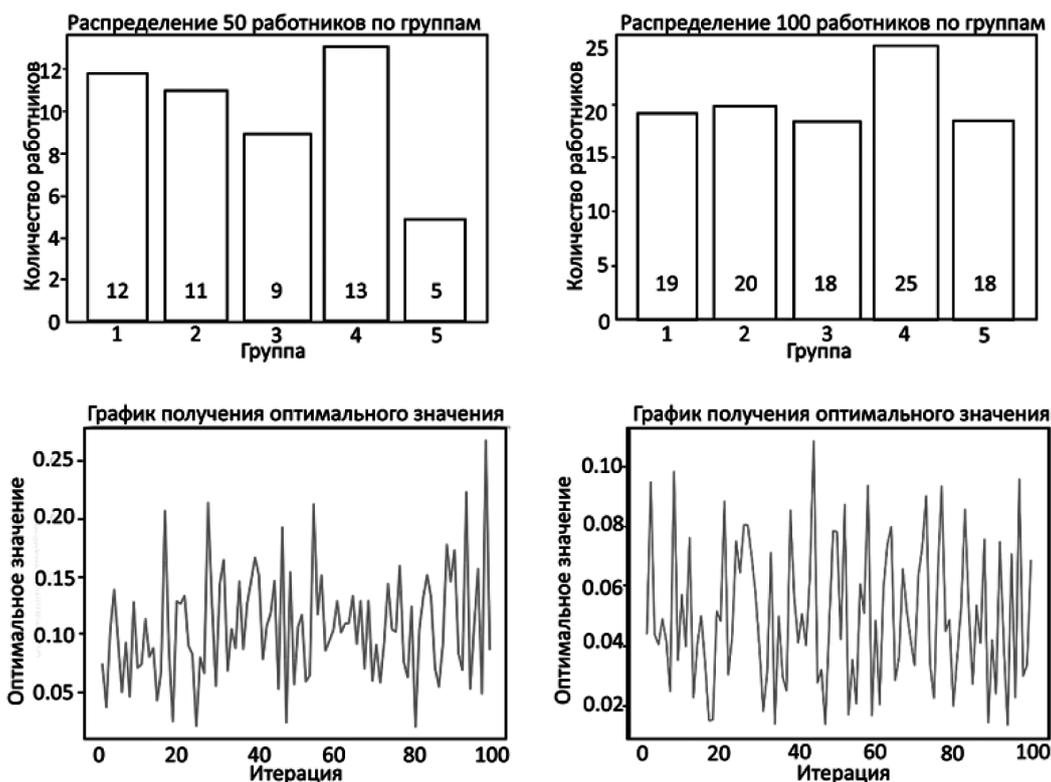


Рис. 6. Результаты эксперимента по 5 группам в части создания инструментария интеллектуальной информационной поддержки принятия решений по развитию кадрового потенциала инновационного предприятия

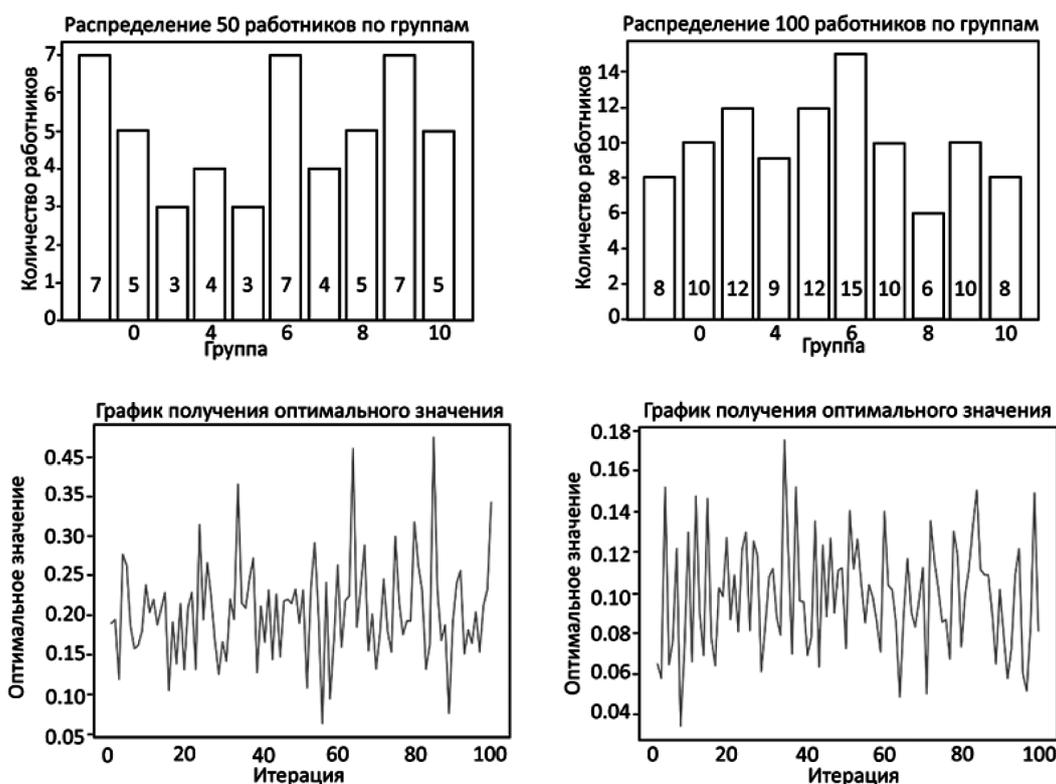


Рис. 7. Результаты эксперимента по 10 группам

ЛИТЕРАТУРА

1. Васяйчева В.А. Система управления кадровым потенциалом промышленных предприятий в условиях инновационных перемен: роль, особенности и направления оптимизации // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. — 2021. — Т. 16, № 4. — С. 405–420.
2. Миндлин Ю.Б. Кластеризация промышленности как инструмент обеспечения конкурентных преимуществ национальной экономики: международный опыт и перспективы для России // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. — 2021. — № 11. — С. 64–70.
3. Барзюлевская А.Ф., Кондрашкин Д.А., Самойлов В.Е., Царегородцев А.В. Сравнение алгоритмов машинного обучения классификации интернет-публикаций // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2021. — № 1. — С. 58–63.
4. Евсюков Д.Ю., Клесов Д.Н., Ломазов В.А., Гостищева Т.В. Поддержка принятия решений при управлении переподготовкой и повышением квалификации работников инновационных предприятий // Перспективы науки. — СПб. — 2023 г. — № 2(6). — С. 24–29.
5. Lomazov, V.A., Evsyukov, D.Y., Lomazova, V.A., Prokushev, Y.E., & Nesterova, E.V. Intellectual assessment of staff sufficiency for innovative development of the sustainable regional agro-industrial complex // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2022. — Vol. 981. — № 2. — P. 022064
6. Грачев Н.Н. и др. Особенности методики оценки экономической эффективности новой техники, эксплуатируемой с использованием облачных технологий // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. — 2021. — № 3. — С. 75–77.
7. Ostrovska, N.Y., Maliuta, L.Y., Sherstiuk, R.P., Lutsyuk, I.V., & Yasinetska, I. A. Development of intellectual potential at systematic paradigm of knowledge management // Scientific Bulletin of National Mining University. — 2020. — № 4.
8. Евсюков Д.Ю. Реализация концепции «Цифровой университет» в аграрном образовании на примере проекта «Электронный вуз» // Новые информационные технологии в образовании: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции. — 2020. — С. 56–58.
9. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. — 2013. — № 4. — С. 155–159.
10. Правосудов Р.Н., Евсюков Д.Ю., Ломазов В.А., Бодина Е.Н. Автоматизация формирования содержания ОПОП ВО на основе профессиональных стандартов по требованиям ФГОС ВО 3++ как фактор цифровой трансформации образовательных систем // Информатика и образование. — 2021. — № 2. — С. 24–32.
11. Дмитриев М.Г., Ломазов В.А. Оценка чувствительности линейной свертки частных критериев при экспертном определении весовых коэффициентов // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2014. — № 1. — С. 52–56.

© Евсюков Дмитрий Юрьевич (evsjob@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДИК ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАН ЕВРОСОЮЗА¹

CHARACTERISTICS OF THE METHODS OF ENSURING INFORMATION SECURITY OF THE EU COUNTRIES

**V. Elin
A. Tsaregorodtsev
M. Lavrinenko**

Summary. The article reveals the centrally applied methods in the EU countries for ensuring information security of certain categories of restricted access information, based on the definition of criteria for the severity of a violation of the context, on a set of requirements to ensure effective and coordinated activities of certified Cybersecurity Assessments modules, as well as on the use of an interoperable set of risk management tools in the EU countries.

Keywords: information security, restricted access information, security methods, information threats, vulnerabilities of information systems.

Елин Владимир Михайлович

Кандидат педагогических наук, доцент, доцент,
Финансовый университет

при Правительстве Российской Федерации;

Кандидат педагогических наук, доцент, доцент, МОСУ
МВД РФ им. В.Я. Кикотя

Царегородцев Анатолий Валерьевич

Доктор технических наук, профессор,
Финансовый университет

при Правительстве Российской Федерации
anvtsaregorodtsev@fa.ru

Лавриненко Михаил Михайлович

Кандидат технических наук, доцент, доцент,
Финансовый университет

при Правительстве Российской Федерации

Аннотация. В статье раскрываются централизованно применяемые в странах Евросоюза методики обеспечения информационной безопасности отдельных категорий информации ограниченного доступа, основанные на определении критериев серьезности нарушения контекста, на совокупности требований по обеспечению эффективной и согласованной деятельности сертифицированных модулей Cybersecurity Assessments, а также на применении интероперабельного набора инструментов управления рисками в странах Евросоюза.

Ключевые слова: информационная безопасность, информация ограниченного доступа, методы обеспечения безопасности, информационные угрозы, уязвимости информационных систем.

В настоящее время в нашей стране в целях повышения качественных характеристик борьбы с коррупционными правонарушениями¹ осуществляется активное применение современных информационных технологий, применение которых обеспечивает предупреждение, выявление, пресечение, раскрытие и расследование причин коррупции и коррупционных правонарушений.

В качестве информационно-коммуникационной технологии обеспечения профилактики коррупционных преступлений определена автоматизированная система обработки информации «Посейдон», реализующая информационно-аналитическое обеспечение аналитической и проверочной деятельности в целях противодействия коррупции² состав и источники информации,

¹ Федеральный Закон от 25.10.2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции» // СЗ РФ, 29.12.2008, № 52 (ч. 1), ст. 6228.

² Указ Президента РФ от 25.04.2022 № 232 «О государственной информационной системе в области противодействия корруп-

содержащейся в системе «Посейдон», определяются ее координатором совместно с оператором системы «Посейдон» с участием поставщиков информации. В состав информации могут входить персональные данные лиц.

Защита информации ограниченного доступа в системе «Посейдон», ее использование и предоставление осуществляются в соответствии с законодательством Российской Федерации. При этом Федеральный Закон «О противодействии коррупции»³ связывает защиту информации с запретом для должностных лиц «разглашать или использовать в целях, не связанных с выполнением служебных обязанностей, сведения, отнесенные к информации ограниченного доступа, ставшие им известными в связи с выполнением служебных обязанностей».

ции «Посейдон» и внесении изменений в некоторые акты Президента Российской Федерации» (вместе с «Положением о государственной информационной системе в области противодействия коррупции «Посейдон»)/http://www.kremlin.ru/acts/bank/47769.

³ Федеральный закон от 25 декабря 2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции» // СЗ РФ 2008. № 52 (Ч. 1). Ст. 6228.

¹ Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета.

В сложившихся условиях особый интерес представляет анализ зарубежного опыта по разработке и применению методологий обеспечения информационной безопасности отдельных категорий информации ограниченного доступа, некоторые из которых представлены в данной статье.

Методология оценки серьезности нарушений персональных данных⁴ устанавливает критерии оценки для определения серьезности нарушения, к которым относят: контекст обработки данных (Data Processing Context (DPC), простоту идентификации (Ease of Identification (EI) и обстоятельства нарушения (Circumstances of breach (CB).

Окончательное значение серьезности нарушений рассчитывается по формуле:

$$SE = DPC * EI + CB \quad (1)$$

При этом показатели для параметров расчета определяются с учетом ряда табличных критериев:

В основе методологии оценки нарушений персональных данных положено применения критерия критичности данного набора данных DPC в конкретном контексте обработки. Результат относится к определенному диапазону значений, который соответствует одному из четырех уровней серьезности: низкий, средний, высокий и очень высокий. Контекст обработки данных (DPC) наряду с типом взломанных данных учитывает факторы контекста обработки. Предварительный балл DPC получаем в результате классификации персональных данных: простые, поведенческие, финансовые и конфиденциальные данные, затем параметр корректируется с учетом контекстуальных факторов, связанных с конкретным типом данных.

Простота идентификации (EI), представляет собой характеристику затратности установления личности физических лиц и определяет возможность соотнесения персональных данных с конкретным физическим лицом. Различают четыре уровня EI (незначительный, ограниченный, значительный и максимальный) с линейным увеличением баллов. Самый низкий балл присваивается, когда возможность идентифицировать личность ничтожно мала, поскольку сопоставить данные с конкретным человеком чрезвычайно сложно, но возможно при определенных условиях. Идентификация может быть прямой (например, на основе имени) или косвенной (например, на основе идентификационного номера), на основе взломанных данных, также может зависеть

⁴ Recommendations for a methodology of the assessment of severity of personal data breaches. Working Document, v1.0, December 2013/European Union Agency for Network and Information Security.

от конкретного контекста взлома, когда идентификация возможна непосредственно на основе взломанных данных без специальных исследований, необходимых для установления личности человека.

Обстоятельства нарушения (CB) представляют собой конкретные обстоятельства, связанные с типом нарушения, включая главным образом утрату безопасности взломанных данных с учетом таких элементов как потеря безопасности (конфиденциальность, целостность, доступность) и злонамеренный умысел, что позволяет дополнить DPC и EI.

Потеря конфиденциальности происходит при обращении к информации участников, которые либо не уполномочены, либо не имеют законного доступа. Степень потери конфиденциальности зависит от объема раскрытия, т.е. от потенциального количества и типа сторон, которые получили (могут получить) незаконный доступ к информации.

Потеря целостности происходит в случае изменения содержания исходной информации, что может нанести ущерб заинтересованному лицу. Наиболее серьезная ситуация возникает, когда существуют серьезные возможности того, что измененные данные были использованы таким образом, который мог нанести вред человеку.

Потеря доступности происходит, когда утрачивается возможность доступа к запрашиваемым исходным данным, что может носить временный (данные могут быть восстановлены, но это займет определенный период времени, и это может нанести ущерб человеку), либо постоянный (данные не могут быть восстановлены) характер.

Злонамеренность умысла следует связывать человеческой или технической ошибкой, либо с неправомерным воздействием. В случае ошибки нарушения включают случаи потери, ненадлежащего удаления, человеческой ошибки и программного сбоя или неправильной настройки. Неправомерные нарушения включают случаи кражи и взлома, направленные на причинение вреда отдельным лицам, а также передачу персональных данных третьим лицам с целью получения прибыли (например, продажу списков персональных данных).

Баллы, полученные за каждый элемент CB, суммируются.

Окончательная оценка представлена в табл. 1 и показывает уровень серьезности нарушения с учетом влияния на физических лиц.

Методология отраслевых оценок кибербезопасности⁵ (Sectoral Cybersecurity Assessments Далее:

⁵ Methodology for sectoral cybersecurity assessments.eu cybersecurity certification framework. Sept.2021/ENISA.142.PS

«Методология SCSA») определяет совокупность требований по обеспечению эффективной и согласованной деятельности сертифицированных модулей Cybersecurity Assessments (CSA).

Таблица 1.

Уровень серьезности утечки данных

$SE < 2$	Низкий	Люди либо не будут затронуты, либо могут столкнуться с некоторыми неудобствами, которые они без проблем преодолеют (затраты на повторный ввод информации, досада, раздражение и т. д.).
$2 \leq SE < 3$	Средний	Люди могут столкнуться со значительными неудобствами, которые они в состоянии преодолеть, несмотря на некоторые трудности (дополнительные расходы, отказ в доступе к бизнес-услугам, страх, непонимание, стресс, незначительные физические недуги и др.).
$3 \leq SE < 4$	Высокий	Люди могут столкнуться со значительными последствиями, которые они в состоянии преодолеть, пусть и с серьезными трудностями (утрата финансовых средств, занесение в черный список банками, материальный ущерб, потеря работы, повестка в суд, ухудшение здоровья и др.).
$4 \leq SE$	Очень высокий	Физические лица могут столкнуться со значительными, или необратимыми последствиями, которые они не могут преодолеть (существенный долг или неспособность работать, долгосрочные психологические или физические недуги, смерть и др.).

Выделяют следующие задачи: выполнение требований безопасности и гарантии услуг, процессов или продуктов ИКТ, определяемых на основе рисков, связанных с предполагаемым использованием ИКТ; обеспечение гарантированных уровней поддержки и применение инструментов встроенной безопасности. Решение представленных задач с помощью методологии SCSA осуществляется в контексте разработки отраслевых схем сертификации кибербезопасности для различных услуг ИКТ в отдельных секторах рынка.

Исследователи выделяют ряд особенностей методологии SCSA:

- основой оценки кибербезопасности на отраслевом уровне выступают цели функционирования ИКТ в отрасли, основные активы и связанные с ними риски, на основе анализа информации об использовании подсистем, продуктов или услуг. Важным параметром при анализе киберугроз (СТИ), необходимым для определения требований безопасности и гарантии к подсистемам ИКТ, продуктам ИКТ или услугам ИКТ на основе риска, выступают сведения о потенциальных злоумышленниках, их мотивах и возможностях;

- применение методологии SCSA основывается на применении внутренних эталонных уровней риска, безопасности и надежности, позволяет интегрировать и подходы к обеспечению кибербезопасности по секторам, продуктам и процессам, в том числе и основанных на основании требований ISO/IEC 15408⁶.

Методология SCSA формирует взаимосвязь между стандартами серий ISO/IEC 27000 и ISO/IEC 15408, обеспечивая:

- обмен результатами оценки рисков, спецификациями безопасности и гарантиями на основании метода сопоставления, устраняющего расхождения в терминологии и обеспечивающего передачу информации;
- применение масштабируемых средств контроля с заданным уровнем безопасности в соответствии со способностью анализа рисков и защиты от атак. При этом заинтересованные стороны несут ответственность за выявление рисков и участвуют в определении требований безопасности, что позволяет связать совокупность рисков и затрат для снижения этих рисков;
- применение методологии SCSA обеспечивает согласованность в реализации уровней доверия на основании типовых схем применения, что позволяет использовать различные сертификаты.

Методология предлагает участникам отдельные алгоритмы поведения, основанные на совокупности типичных обязанностей:

- координирующий орган определяет правила участия заинтересованных организаций в отраслевой системе ИКТ, включающие, например, сертификацию безопасности подсистем или продуктов ИКТ в качестве предварительного условия участия в информационной системе или ее эксплуатации;
- совокупность предоставляемых инфраструктурных услуг, продуктов и процессов ИКТ, возможность их повсеместного использования, уровень детализации функций и уровней безопасности, определяется координирующим органом;
- качество отраслевых систем основано на требованиях соглашений об оказании услуг, заключаемых между конечными пользователями отраслевых услуг ИКТ с «поставщиком услуг ИКТ» или «розничным продавцом услуг ИКТ».

⁶ ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012 «Information technology. Security techniques. Evaluation criteria for IT security. Part 1. Introduction and general model». Национальный Стандарт Российской Федерации «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий»

Методология SCISA реализует подход сценария риска для обеспечения согласованности и обратимости отображений риска, потенциала атаки, безопасности и гарантии, которые соединяют все три уровня отраслевой оценки.

На первоначальном этапе вычисление отраслевой оценки базируется на информации о первичных функциональных активах бизнес-процессов, далее оценивается потенциальное влияние успешных атак на первичные активы и вероятность того, что это воздействие может произойти. Информация о рисках предоставляется отраслевыми заинтересованными сторонами или генерируется любым инструментом управления рисками в соответствии со стандартом ISO/IEC 27005⁷ и используется для консолидации оценки воздействия и вероятности конкретного инцидента и дальнейшего присвоения классов мета-риска (MRC).

Классы мета-риска в дальнейшем распространяют на все вспомогательные активы и используют для определения требований безопасности для подсистем, продуктов, услуг и процессов ИКТ.

Информация о риске, в частности MRC, применяется к конкретному вспомогательному активу, наследуется от оценки первичной информации или функционального актива, поддерживаемого оцениваемым вспомогательным активом. Для отраслевой оценки на высоком уровне как часть контекста используют СТИ и информацию о нарушителях с учетом их потенциала и мотивов, в результате чего формируют перечень потенциальных типов нарушителей, с указанием целей, мотивации, а также оценки используемых нарушителями средств.

Подход в организационной системе управления информационной безопасностью (ISMS) базируется на оценке уровня риска как функции воздействия (последствий) события и вероятности его возникновения, причем методология позволяет оценить ущерб в результате инцидента лишь при условии высокой вероятности события либо при низкой степени воздействия на ИКТ, в связи с чем для предлагаемая модель сертифицируется для каждого сектора экономики на основании сопоставимых уровней риска.

Оценки отраслевых рисков проводятся координирующим органом сектора или разработчиком отраслевой схемы сертификации кибербезопасности с привлечением заинтересованных сторон и координирующих организаций («владельцев бизнес-рисков»), а также потребителей отраслевых услуг.

⁷ ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010 Национальный Стандарт Российской Федерации "Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. Information technology. Security techniques. Information security risk management.

Методология SCISA базируется на сценариях риска, разрабатываемых отраслевыми заинтересованными сторонами с учетом возможного причиняемого ущерба.

Идентификация сценариев основывается на средствах и мотивации нарушителей, а также на их возможности оказывать влияние на функциональные (основные или вспомогательные) активы. По результатам идентификации сценариев риска заинтересованные стороны производят оценку вероятности реализации сценария, причем сценарий риска может касаться целей нескольких заинтересованных сторон, и в то же время разные заинтересованные стороны в секторе могут по-разному относиться к соответствующему воздействию. В связи с этим Методология SCISA предлагает две концепции согласования решений, касающихся воздействия, которое может быть вызвано реализацией данного сценария риска.

В целях обеспечения сопоставимости оценок воздействия по секторам, определяются общие уровни воздействия для использования в оценках отраслевых рисков. Эти уровни, называемые классами воздействия (IC), качественно измеряют ущерб, который сценарий риска может нанести бизнесу заинтересованных сторон.

Инструменты управления рисками в Евросоюзе (Interoperable EU Risk Management Framework («EU RM»))

Интероперабельный набор инструментов EU RM⁸ обеспечивает справочную структуру для интерпретации, сравнения и агрегирования результатов полученных с помощью различных методов оценки риска⁹. Это позволяет заинтересованным сторонам работать над общими угрозами и сценариями рисков¹⁰ и сравнивать уровни рисков, даже в тех случаях, когда они оцениваются с помощью различных или собственных инструментов и методов, что позволяет разработать комплексное представление о состоянии кибербезопасности организаций в отношении конкретных или возникающих угроз в разных секторах и странах.

Функциональными компонентами набора инструментов EU RM являются следующие: отображение терминологии; сопоставление активов; картирование угроз и уровней риска. Набор инструментов EU RM облегчает согласование действий по четырем направлениям менеджмента рисков:

- предоставляет набор интероперабельных терминов, основанных на нормативно-правовой базе и международных стандартах, которые исполь-

⁸ Interoperable EU Risk Management Toolbox. February. 2023.

⁹ Сборник структур управления рисками с потенциальной функциональной совместимостью// <https://www.enisa.europa.eu/publications/compendium-of-risk-management-frameworks>.

¹⁰ Интероперабельная система управления рисками ЕС // <https://www.enisa.europa.eu/publications/interoperable-eu-risk-management-framework>.

зуются для установления контекста RM. Это позволяет дать однозначное описание и понимание деятельности RM, осуществлять сопоставление между набором инструментов EU RM и соответствующими методологиями RM, независимо от используемой методологии RM;

- определяет объем среды применения оценки рисков, предоставляя классификацию основных и дополнительных активов участников. Классификация облегчает разработку однозначных сценариев риска и правильную интерпретацию соответствующих активов, подлежащих учету в процессе оценки риска, после чего организации смогут определить, применим ли сценарий риска или атаки и каким образом;
- позволяет определить сценарии риска, связанные с конкретной угрозой или группой угроз. При этом сценарии высокого уровня риска, связанные с конкретной угрозой или группой угроз должны быть сопоставлены со средой организации для надлежащей оценки. После того, как произошел выбор сценария риска для оценки, инструментарий EU RM может использовать таксономию угроз, предоставленную набором инструментов, и активы, связанные со сценарием риска, чтобы сопоставить его с соответствующим внутренним методом RM. Это позволяет организациям легко оценивать свои уровни риска и состояние безопасности своей организации для сценариев риска и приступать к нормализации рассчитанных результатов;
- сопоставление рассчитанных с использованием выбранного метода RM значений рисков с общей шкалой рисков, на основании чего оператор нормализует результаты на основе процесса сопоставления уровней риска, специально разработанного для каждого RM. В процессе сопоставления соотносят шкалу рисков выбранного внутреннего метода со шкалой рисков набора инструментов, предоставляя тем самым заинтересованным сторонам средства для использования общей эталонной шкалы оценки рисков.

В информационной системе защите подлежат основные и вспомогательные активы, персонал¹¹, коммуникации¹² и организационную инфраструктуру¹³.

¹¹ Персонал осуществляющий бизнес-процессы и функции, поддержку пользователей, разработку и обслуживание программного обеспечения, поддержку оборудования, предоставление услуг и управление данными.

¹² Инженерные коммуникации, включая все соответствующие помещения, а также основные коммунальные услуги, предоставляемые внешними поставщиками, электроснабжение и водоснабжение.

¹³ Организационная инфраструктура, политики, процедуры и вспомогательные услуги информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) (например, телекоммуникации, сеть, облако, хостинг).

В число основных активов относят основные бизнес-процессы, услуги и функции, предоставляемые третьими лицами; компьютерные данные (информация) для обслуживания конкретных производственных процессов.

В перечень вспомогательных активов включено аппаратное обеспечение, устройства и оборудование¹⁴, средства массовой информации, устройства Интернета вещей (IoT), устройства операционных технологий (OT), телекоммуникационные устройства, периферийные устройства и устройства хранения; программное обеспечение и приложения¹⁵.

Категоризация активов осуществляется на основании адаптированных к потребностям инструментария требований стандартов ISO/IEC 27005:2018¹⁶.

В качестве основных угроз определены: природные и промышленные угрозы, ошибки и непреднамеренные сбои, преднамеренные нападения и сервисные угрозы (облачные сервисы и сервисы, предоставляемые третьими лицами).

После определения категорий угроз каждая отдельная угроза связывается с категориями активов, на которые она может повлиять и с последствиями, которые это может вызвать с точки зрения конфиденциальности, целостности и доступности.

Уровень риска информационной безопасности определяется как показатель степени воздействия потенциального события и связывается с вероятностью возникновения угрозы и ее влиянием на активы организации. Обычно используют три типа методологий оценки рисков информационной безопасности: количественные, качественные и полуколичественные. Количественная оценка риска использует объективные (подлежащие количественной оценке) факты, качественная оценка риска устанавливает риск для отдельных категорий информации, метод полуколичественной оценки риска обычно использует описательные или числовые оценки.

Риск определяют, как произведение вероятности возникновения и влияния угрозы.

Вероятность возникновения угрозы представляет собой оценку вероятности того, что конкретная угроза

¹⁴ В т.ч. вычислительные и сетевые устройства.

¹⁵ Включая системное программное обеспечение и операционные системы, встроенное программное обеспечение, промежуточное программное обеспечение, пакетное программное обеспечение и бизнес-приложения/приложения для конечных пользователей.

¹⁶ В настоящее время актуальной версией ISO/IEC 27005:2018 выступает ISO/IEC 27005:2022 "Information security, cybersecurity and privacy protection — Guidance on managing information security risks".

может использовать конкретную уязвимость или совокупность уязвимостей. Методология EU RM использует уровни вероятности возникновения непреднамеренных угроз: ежедневная, ежемесячная, ежегодная, один раз в 10 лет и один раз в столетие. Инструментарий EU RM определяет пять дискретных уровней вероятности возникновения угрозы: очень высокий (угроза, скорее всего, материализуется, поскольку существуют связанные с ней уязвимости и отсутствуют адекватные меры безопасности), высокий (угроза может материализоваться, потому что существуют связанные уязвимости, которые можно использовать, и применяются неэффективные или устаревшие меры безопасности), умеренный (угроза потенциально может материализоваться, поскольку существуют уязвимости, которые можно использовать, и несмотря на то, что они были закрыты мерами безопасности), низкий (угроза вряд ли материализуется, так как все связанные с ней уязвимости закрыты соответствующими мерами безопасности), очень низкий (возникновение угрозы крайне маловероятно).

Уровень воздействия определяется как уровень ущерба, который может быть оценен в результате раз-

личных действий¹⁷, Инструментарий EU RM определяет следующие пять уровней воздействия, описываемых с точки зрения операционных, правовых, финансовых и других последствий: очень высокий, высокий, умеренное, низкий, очень низкое.

Таким образом можно сделать вывод о том, что применяющиеся в странах Евросоюза методики обеспечения безопасности некоторых категорий информации ограниченного доступа базируется на применении критериев оценки контекста обработки данных, идентификации информации, характеристике угроз и вероятности наступления неблагоприятных последствий с учетом обстоятельств нарушения. К несомненным положительным чертам представленных методик относится их высокая вариативность и отсутствие жестких требований построения систем безопасности информационных систем обработки информации ограниченного доступа.

¹⁷ Включая, помимо прочего, последствия незаконного раскрытия информации, незаконного изменения информации, несанкционированного уничтожения информации или потери информации, или доступности информационной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный Закон от 25.10.2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции» // СЗ РФ, 29.12.2008, № 52 (ч. 1), ст. 6228.
2. Указ Президента РФ от 25.04.2022 № 232 «О государственной информационной системе в области противодействия коррупции «Посейдон» и внесении изменений в некоторые акты Президента Российской Федерации» (вместе с «Положением о государственной информационной системе в области противодействия коррупции «Посейдон»)//<http://www.kremlin.ru/acts/bank/47769>.
3. Федеральный закон от 25 декабря 2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции» // СЗ РФ 2008. № 52 (Ч. 1). Ст. 6228.
4. Recommendations for a methodology of the assessment of severity of personal data breaches. Working Document, v1.0, December 2013/European Union Agency for Network and Information Security.
5. Methodology for sectoral cybersecurity assessments.eu cybersecurity certification framework. Sept.2021/ENISA.142 P.S.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012 «Information technology. Security techniques. Evaluation criteria for IT security. Part 1. Introduction and general model». Национальный Стандарт Российской Федерации «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий».
7. ГОСТ Р ИСО\МЭК 27005-2010 Национальный Стандарт Российской Федерации «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности». Information technology. Security techniques. Information security risk management.
8. Interoperable EU Risk Management Toolbox. February. 2023.
9. Сборник структур управления рисками с потенциальной функциональной совместимостью// <https://www.enisa.europa.eu/publications/compendium-of-risk-management-frameworks>.
10. Интероперабельная система управления рисками ЕС // <https://www.enisa.europa.eu/publications/interoperable-eu-risk-management-framework>.

ДИАГНОСТИКА ПНЕВМОНИИ НА РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ СНИМКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

PNEUMONIA DETECTION IN CHEST X-RAY IMAGES USING A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

**S. Kasyuk
G. Didenko
O. Stepanova**

Summary. The article considers a modern technology of X-ray diagnostics based on the use of a convolutional neural network. A publicly available pneumonia X-ray dataset, provided by Kermany et al., for image-based deep learning is described. A configuration of convolutional neural network built on the GoogLeNet architecture is outlined. The Python program implementing neural network's learning process, calculation of evaluation metrics and pneumonia detection is described. The process of training the convolutional neural network is outlined. The comparison of the obtained evaluation metrics of the binary classifier and results of published international researches is given.

Keywords: X-ray diagnostics, data classification, deep learning, convolutional neural network, Python programming.

Касюк Сергей Тимурович

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения
Российской Федерации (г. Челябинск)
sergey.kasyuk@gmail.com

Диденко Галина Александровна

К.п.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения
Российской Федерации (г. Челябинск)
pga80@mail.ru

Степанова Оксана Александровна

К.п.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения
Российской Федерации (г. Челябинск)
okalst@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается современная технология рентгенодиагностики пневмонии, основанная на использовании сверточной нейронной сети. Описывается набор рентгенологических снимков грудной клетки Д. Кермани, К. Чжана и М. Голдбаума (Kermany dataset), используемый для глубокого обучения. Приводится конфигурация сверточной нейронной сети, построенной на архитектуре GoogLeNet. Описывается программа на языке Python, реализующая обучение нейронной сети, расчет метрик классификации и диагностику пневмонии. Рассматривается процесс обучения сверточной нейронной сети. Дается сравнение полученных метрик бинарной классификации с опубликованными результатами международных исследований.

Ключевые слова: рентгенодиагностика, классификация данных, глубокое обучение, сверточная нейронная сеть, метрики классификации, программирование на Python.

Введение

Эта статья посвящена диагностике пневмонии на рентгенологических снимках грудной клетки с использованием сверточной нейронной сети, построенной на архитектуре GoogLeNet. Глубокое обучение нейронной сети проводилось на общедоступном наборе рентгенограмм Д. Кермани, К. Чжана и М. Голдбаума (Kermany dataset) [1]. Программная реализация сверточной нейронной сети была осуществлена на языке программирования Python с применением библиотек машинного обучения TensorFlow и Keras.

Цель статьи — показать использование технологии сверточных нейронных сетей и глубокого обучения для

построения классификатора пневмонии и сравнить полученные результаты с данными опубликованных международных исследований.

1. Особенности диагностики пневмонии

Рентгенография грудной клетки является наиболее часто используемым неинвазивным методом диагностики пневмонии. Белые пятна на рентгенограммах, называемые инфильтратами, отличают пневмонию от здоровых легких. Нормальная рентгенограмма грудной клетки показывает чистые легкие без каких-либо областей аномального помутнения на изображении. Бактериальная пневмония обычно характеризуется фокальной долевыми консолидацией. Вирусная пневмо-



Рис. 1. Примеры рентгенограмм грудной клетки

ния проявляется более диффузным интерстициальным рисунком в легких [1].

Таким образом, рентгенологическая диагностика пневмонии является сложной задачей, которую решает врач-специалист. На сегодняшний день обученные на тысячах изображений сверточные нейронные сети способны быстро классифицировать большое количество рентгенограмм и могут оказать консультационную помощь специалисту, уменьшив количество ошибок диагностики.

2. Исходные данные для машинного обучения

Исходными данными для обучения сверточной нейронной сети послужил общедоступный набор данных Д. Кермани, К. Чжана и М. Голдбаума (*Kermany dataset*), содержащий 5863 рентгенограммы грудной клетки. Все снимки были сделаны в Женском и детском медицинском центре г. Гуанчжоу (КНР) в рамках обзорной рентгенографии органов грудной клетки (передняя и задняя проекция), проводимой у педиатрических пациентов в возрасте от одного до пяти лет. Обследования выполнялись в рамках оказания медицинской помощи пациентам. Примеры рентгенограмм из этого набора для здоровых легких, бактериальной пневмонии и вирусной пневмонии приведены на рис. 1 [1].

Используемый набор данных прошел контроль качества — все низкокачественные и неразборчивые рентгенограммы были отбракованы. Диагнозы бактериальной и вирусной пневмонии были поставлены двумя врачами-экспертами; во избежание ошибок этот набор данных был проверен третьим экспертом.

Рентгенограммы в формате *JPEG* расположены в трех папках (*train*, *test* и *val* — обучающая, тестовая, проверочная выборки соответственно) и содержит подпапки *PNEUMONIA* и *NORMA* для каждой категории изображений. Этот набор является несбалансированным, поскольку в обучающей выборке содержится в три раза больше рентгенограмм с пневмонией, чем с легкими без особенностей. Диаграмма распределения рентгенограмм в обучающей выборке представлена на рис. 2.

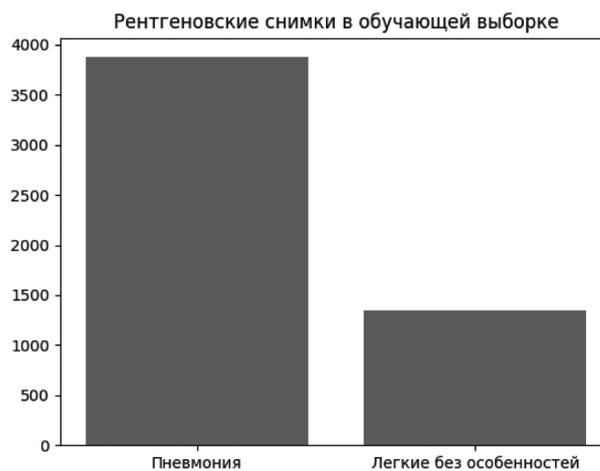


Рис. 2. Диаграмма распределения рентгенограмм в обучающей выборке

3. Используемая архитектура сверточной нейронной сети GoogLeNet

Для решения задачи диагностики пневмонии была использована классическая 22-слойная архитектура *GoogleNet (Inception-v1)*, представленная в работе Кристиана Сегеди, Вэй Лю, Янцина Цзя и др. «Углубление с помощью свертки» («Going deeper with convolutions») [2]. Отличительной чертой этой архитектуры является улучшенное использование вычислительных ресурсов внутри сети за счет применения модуля *Inception* [3].

На рис. 3 показана архитектура модуля *Inception-v1*, включающая: 1) сверточные слои (*Convolution*) с функцией активации *ReLU (Rectified Linear Unit)*, 2) слой объединения по максимуму (*Max Pooling*) и 3) слой конкатенации в глубину (*Concatenate*). Сверточные слои содержат: f — фильтры (*filters*); k — ядра (*kernels*); s — страйды (*strides*); p — дополнения нулями (*padding = SAME*) [3, 4].

В табл. 1 представлена архитектура *GoogLeNet*, включающая девять модулей *Inception*. Сеть имеет глубину 22 слоя, если считать только слои с параметрами. Общее количество слоев (самостоятельных строительных блоков), используемых для создания сети, составляет около 100. Однако это число зависит от параметров машинного обучения [2].

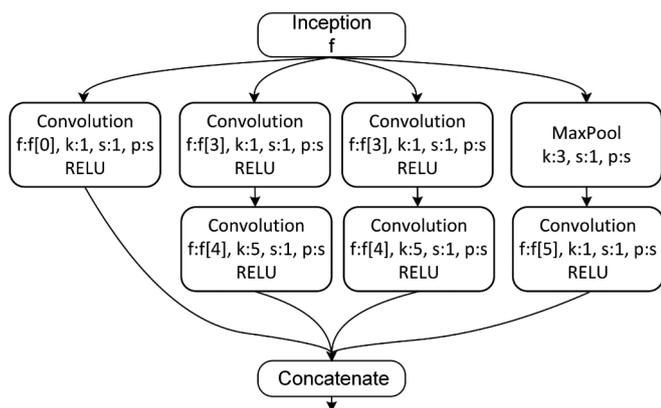


Рис. 3. Схема архитектуры Inception

Во всех сверточных слоях применяется функция активации *ReLU*. Столбцы таблицы «#3×3 reduce (сжатие)» и «#5×5 reduce (сжатие)» означают количество фильтров 1×1 в слое сжатия, расположенном до сверток 3×3 и 5×5. В столбце «pool proj» располагается количество фильтров 1×1 в слое проекции (*projection layer*) после слоя объединения по максимуму (*MaxPool*) [2].

На вход этой сети поступает RGB изображение размером 224×224 пикселей, проходит через последовательность сверточных слоев (*Convolution*), слоев объединения по максимуму (*MaxPool*), модулей *Inception*, слой

объединения по среднему (*AvgPool*), слой отключения (*DropOut*), используемый для регуляризации, и заключительный полносвязный слой (*Flatten*) с функцией активации *Softmax*, используемый для получения оценочных вероятностей двух классов [2–4].

4. Реализация сети GoogLeNet (Inception-v1) на языке программирования Python

Программная реализация модуля *Inception-v1* на языке Python представлена ниже [4]:

```
def inception_block(x, filters):
    t1 = Conv2D(filters=filters[0], kernel_size=1,
                activation='relu')(x)
    t2 = Conv2D(filters=filters[1], kernel_size=1,
                activation='relu')(x)
    t2 = Conv2D(filters=filters[2], kernel_size=3,
                padding='same', activation='relu')(t2)
    t3 = Conv2D(filters=filters[3], kernel_size=1,
                activation='relu')(x)
    t3 = Conv2D(filters=filters[4], kernel_size=5,
                padding='same', activation='relu')(t3)
    t4 = MaxPool2D(pool_size=3, strides=1, padding='same')(x)
    t4 = Conv2D(filters=filters[5], kernel_size=1,
                activation='relu')(t4)
    output = Concatenate()([t1, t2, t3, t4])
    return output
```

Таблица 1.

Архитектура сети GoogLeNet

Type	Patch size/ Stride	Output size	Depth	#1×1	#3×3 reduce	#3×3	#5×5 reduce	#5×5	Pool proj
Convolution	7×7/2	112×112×64	1						
Max pool	3×3/2	56×56×64	0						
Convolution	3×3/1	56×56×192	2		64	192			
Max pool	3×3/2	28×28×192	0						
Inception (3a)		28×28×256	2	64	96	128	16	32	32
Inception (3b)		28×28×480	2	128	128	192	32	96	64
Max pool	3×3/2	14×14×480	0						
Inception (4a)		14×14×512	2	192	96	208	16	48	64
Inception (4b)		14×14×512	2	160	112	224	24	64	64
Inception (4c)		14×14×512	2	128	128	256	24	64	64
Inception (4d)		14×14×528	2	112	144	288	32	64	64
Inception (4e)		14×14×832	2	256	160	320	32	128	128
Max pool	3×3/2	7×7×832	0						
Inception (5a)		7×7×832	2	256	160	320	32	128	128
Inception (5b)		7×7×1024	2	384	192	384	48	128	128
Avg pool	7×7/1	1×1×1024	0						
Dropout (40 %)		1×1×1024	0						
Linear		1×1×2	1						
Softmax		1×1×2	0						

Программная реализация архитектуры GoogLeNet на языке Python, работающей с двумя классами изображений, представлена ниже [4]:

```
INPUT_SHAPE = 224, 224, 3
input = Input(INPUT_SHAPE)
x = Conv2D(filters=64, kernel_size=7, strides=2,
padding='same', activation='relu')(input)
x = MaxPool2D(pool_size=3, strides=2, padding='same')(x)
x = Conv2D(filters=64, kernel_size=1, activation='relu')(x)
x = Conv2D(filters=192 (128), kernel_size=3,
padding='same',
activation='relu')(x)
x = MaxPool2D(pool_size=3, strides=2)(x)
x = inception_block(x, filters=[64, 96, 128, 16, 32, 32])
x = inception_block(x, filters=[128, 128, 192, 32, 96, 64])
x = MaxPool2D(pool_size=3, strides=2, padding='same')(x)
x = inception_block(x, filters=[192, 96, 208, 16, 48, 64])
x = inception_block(x, filters=[160, 112, 224, 24, 64, 64])
x = inception_block(x, filters=[128, 128, 256, 24, 64, 64])
x = inception_block(x, filters=[112, 144, 288, 32, 64, 64])
x = inception_block(x, filters=[256, 160, 320, 32, 128, 128])
x = MaxPool2D(pool_size=3, strides=2, padding='same')(x)
x = inception_block(x, filters=[256, 160, 320, 32, 128, 128])
x = inception_block(x, filters=[384, 192, 384, 48, 128, 128])
x = AvgPool2D(pool_size=7, strides=1)(x)
x = Dropout(rate=0.4)(x)
x = Flatten()(x)
output = Dense(units=2, activation='softmax')(x)
from tensorflow.keras import Model
model = Model(inputs=input, outputs=output)
```

5. Разработка программы диагностики пневмонии на рентгенологических снимках грудной клетки

Разработка программы диагностики пневмонии осуществлялась на языке Python с использованием открытых библиотек машинного обучения *TensorFlow* и *Keras*.

Схема программы представлена на рис. 4. Основные операции, выполняемые программой, следующие:

- 1) загрузка рентгенограмм в списки *train_data*, *test_data*, *val_data*, применяемые для обучения, теста и проверки (валидации);
- 2) конфигурирование сверточной нейронной сети GoogLeNet (Inception-v1);
- 3) инициализация параметров обучения: функции потерь (*loss function*), оптимизатора (*optimizer*), ранней остановки (*early_stop*), количества эпох обучения (*epochs*) и размера пакета (*batch_size*);
- 4) обучение сверточной нейронной сети с использованием метода *fit*;
- 5) сохранение и загрузка обученной сети в формате *h5* с использованием метода *save*;
- 6) расчет метрик классификации на тестовом наборе данных с использованием функций *classification_report* и *confusion_matrix*;

- 7) расчет вероятностей принадлежности к классам «норма» и «пневмония» для выбранного файла;
- 8) вывод диагноза.

Разработанная программа прошла государственную регистрацию программы для ЭВМ под названием «Программа для диагностики пневмонии на рентгенограммах грудной клетки с помощью сверточной нейронной сети» (номер регистрации 2023619898) [5].

6. Обучение сверточной нейронной сети

Обучение нейронной сети требует выполнения следующих шагов:

1. Вначале в модель необходимо подать обучающие данные (*train_data*).
2. Затем модель учится ассоциировать изображения с правильными классами «норма» и «пневмония».
3. В конце модель проверяется на тестовых данных (*test_data*) на соответствие предсказанных классов.

Перед началом обучением сети, на этапе компиляции модели (*compile*), были использованы следующие параметры:

- 1) минимизируемая во время обучения функция потерь (*loss function*) — кросс-энтропия для бинарной классификации (*binary_crossentropy*);
- 2) оптимизатор (*optimizer*) с коэффициентом скорости обучения *lr* (*learning_rate*), равным 0,0001, и регуляризацией весов *decay* (*weight decay*), равной 0,00001;
- 3) метрика классификации (*metrics*) — точность (*accuracy*), равная доле правильно классифицированных изображений.

Эти параметры компиляции задавались в программе следующим образом:

```
opt = Adam(lr=0.0001, decay=1e-5)
model.compile(loss='binary_crossentropy',
metrics=['accuracy'], optimizer=opt)
```

Количество эпох обучения (*nb_epochs*) задавалось равным 30; размер пакета (*batch_size*) — 256.

Для остановки обучения нейронной сети при достижении заданной точности были использованы следующие параметры:

- 1) показатель производительности для мониторинга (*monitor*) — потери (*loss*);
- 2) количество эпох без улучшения (*patience*), после которых обучение останавливается, равно 3.

Эти параметры остановки задавались в программе следующим образом:

```
early_stop = EarlyStopping(monitor='loss',
patience=3, verbose=1)
```

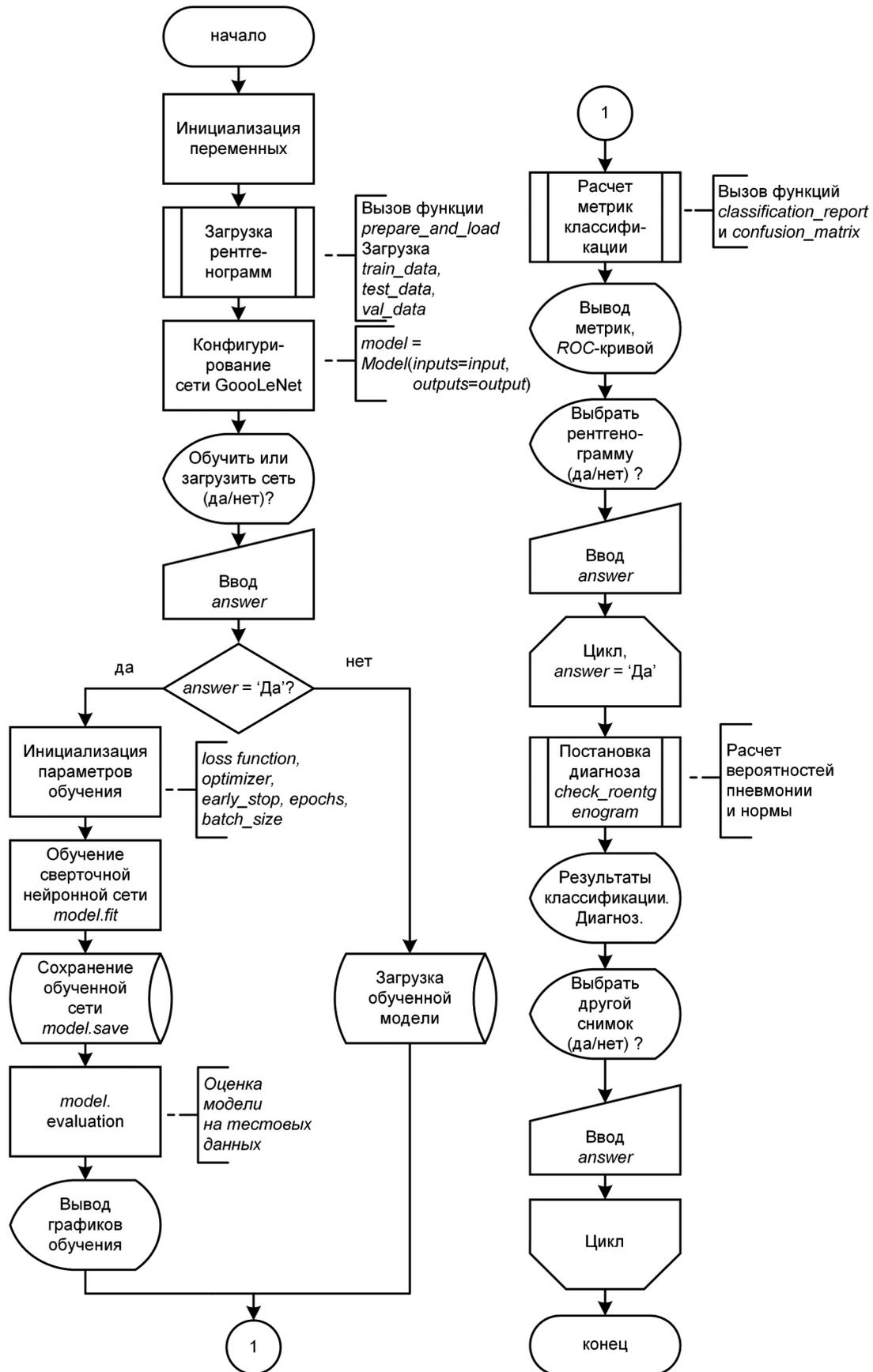


Рис. 4. Схема программы диагностики пневмонии на рентгенологических снимках грудной клетки

Обучение нейронной сети производилось с использованием метода *fit*. Аргумент *class_weight* при этом учитывал несбалансированность обучающих данных.

```
history = model.fit(train_data_gen, epochs=nb_epochs,
steps_per_epoch=nb_train_steps,
validation_data=(val_data,val_labels),
callbacks=[early_stop],
class_weight={0:1.0, 1:0.4})
```

Количество эпох обучения составило 21. Количество обученных параметров сети GoogLeNet — 5975602. Время обучения сети на ПК с процессором AMD Ryzen 5 3600 и 16 Гб оперативной памяти, работающими частоте 3200 МГц, заняло около двух часов.

Результаты обучения на последней эпохе следующие:
Epoch 21/50
20/20 [=====] — 383s
19s/step — loss: 0.0677 — accuracy: 0.9504 — val_loss: 0.2728 — val_accuracy: 0.9375

Полученная сверточная нейронная сеть достигла на обучающих данных точности, равной 0,9504 (95,04 %), на данных для валидации — точности, равной 0,9375 (93,75 %).

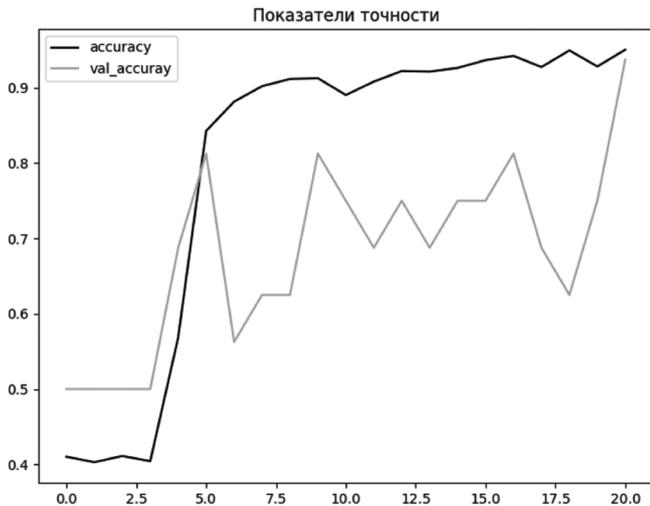


Рис. 5. Графики точности классификации на тестовой (*accuracy*) и проверочной (*val_accuracy*) выборках в зависимости от эпох обучения

Вывод графиков *точности классификации* на обучающей (*accuracy*) и проверочной (*val_accuracy*) выборках в зависимости от циклов обучения (рис. 5) был осуществлен с помощью следующего фрагмента кода:

```
plt.title('Показатели точности')
plt.plot(history.history['accuracy'])
plt.plot(history.history['val_accuracy'])
plt.legend(['accuracy','val_accuay'])
plt.show()
```

Очевидно, что на *двадцать первой эпохе обучения* значения точности сети на обучающей и проверочной выборках практически сравнялись, то есть была обеспечена сходимость модели.

7. Полученные метрики классификации

Вывод текстового отчета, содержащего основные метрики классификации для тестовой выборки, был осуществлен следующим образом:

```
pred = model.predict(test_data, batch_size=16)
pred = np.argmax(pred, axis=-1)
labels = np.argmax(test_labels, axis=-1)
from sklearn.metrics import classification_report
print(classification_report(labels, pred))
```

Рассчитанные метрики классификации приведены ниже:

```
precision recall f1-score support
0 0.89 0.80 0.84 234
1 0.89 0.94 0.91 390
accuracy 0.89 624
macro avg 0.89 0.87 0.88 624
weighted avg 0.89 0.89 0.89 624
```

В колонках этого отчета расположены [3, 6]:

1) *precision* (точность):

$$precision = TP / (TP + FP), \tag{1}$$

где *TP* — это количество истинно положительных классификаций, *FP* — количество ложноположительных классификаций;

2) *recall* (полнота):

$$Recall = TP / (TP + FN), \tag{2}$$

где *FN* — это количество ложноотрицательных классификаций;

3) *F1-score* (оценки *F1*) — средневзвешенное гармоническое значение *precision* и *recall*:

$$F1 - score = \frac{2}{\frac{1}{precision} + \frac{1}{recall}}; \tag{3}$$

4) *support* (поддержка) — количество правильной классификации для каждого класса объектов.

В строках этого отчета располагаются [7]:

- 1) *классы объектов*: 0 — «норма»; 1 — «пневмония»;
- 2) значения усредненных метрик: *точность* (*accuracy*), *макроусреднение* (*macro avg*) и *взвешенное усреднение* (*weighted avg*).

Нейронная сеть показала одинаковую *точность* (*precision*), равную 0,89, на рентгенограммах классов «норма» и «пневмония». Значение *полноты* (*recall*) для класса «пневмония», равное 0,94, оказалось выше. Таким образом, классификатор лучше диагностирует класс «пневмония».

Вывод *матрицы ошибок* (рис. 6) был произведен с помощью программного кода, представленного ниже:

```
cm = confusion_matrix(labels, pred)
plot_confusion_matrix(cm, figsize=(12,8), hide_ticks = True,
cmmap = plt.cm.Blues)
plt.title('Матрица ошибок')
plt.xticks(range(2), ['Normal', 'Pneumonia'], fontsize = 16)
plt.yticks(range(2), ['Normal', 'Pneumonia'], fontsize = 16)
plt.show()
```

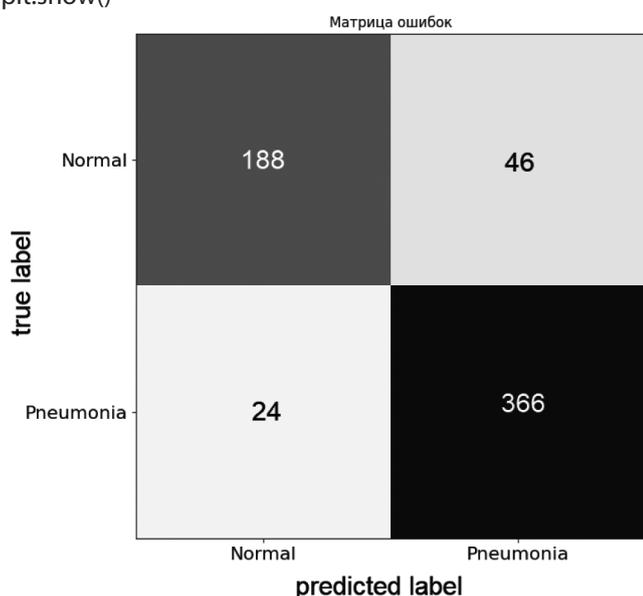


Рис. 6. Матрица ошибок

Используя полученную матрицу ошибок, рассчитаем следующие показатели:

1) *точность* (*accuracy*) — долю правильных классификаций:

$$accuracy = (TP + TN) / (TP + FP + FN + TN) = (188 + 366) / (188 + 46 + 24 + 366) = 0,8878 \text{ (88,78 \%)}; \quad (4)$$

2) *чувствительность* (*sensitivity*) — долю положительных образцов, которые корректно обнаружены классификатором:

$$sensitivity = TP / (TP + FN) = 188 / (188 + 24) = 0,8868 \text{ (88,68 \%)}; \quad (5)$$

3) *специфичность* (*specificity*) — долю отрицательных образцов, которые корректно обнаружены классификатором:

$$specificity = TN / (TN + FP) = 366 / (366 + 46) = 0,8883 \text{ (88,83 \%)}; \quad (6)$$

Вывод *ROC-кривой* (рис. 7) был произведен с помощью следующего программного кода:

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.title('ROC-кривая')
plt.plot(fpr, tpr, 'b', label = 'AUC = %0.2f' % roc_auc)
plt.legend(loc = 'lower right')
plt.plot([0, 1], [0, 1], 'r--')
plt.xlim([0, 1])
plt.ylim([0, 1])
plt.ylabel('Доля верных положительных классификаций')
plt.xlabel('Доля ложных положительных классификаций')
plt.show()
```

Значение *площади под кривой* (*AUC*), равное 0,87, говорит о *хорошем* качестве классификации нейронной сети, достигнутом на тестовых данных.

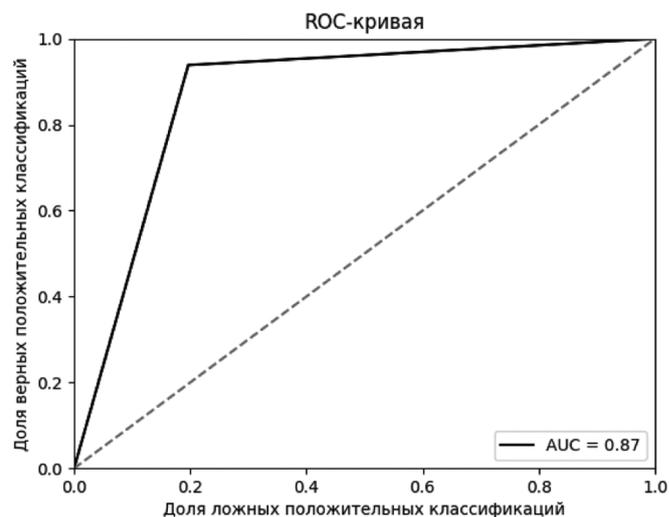


Рис. 7. ROC-кривая

8. Классификация рентгенологических снимков с помощью обученной сверточной нейронной сети

Классификация рентгенологических снимков осуществлялась с помощью разработанной функции *check_roentgenogram*:

```
answer = mb.askyesno(title="Вопрос",
message="Выбрать рентгенологический снимок для классификации?")
while answer:
file_name = fd.askopenfilename()
check_roentgenogram(file_name)
answer = mb.askyesno(title="Вопрос",
message="Выбрать другой рентгенологический снимок для классификации?")
```

Оператор, отвечая на вопрос на рис. 8, выбирает конкретный снимок.

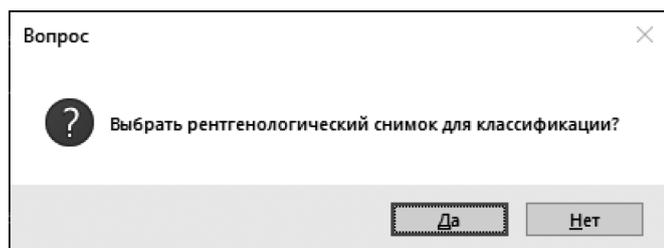


Рис. 8. Окно выбора

Программа проводит классификацию рентгенограммы и выводит на экран значения вероятностей принадлежности снимка к классам «норма» и «пневмония». Рентгенограмма принадлежит к тому классу, для которого вероятность выше.

Пример классификации рентгенограммы приведен ниже:

Вероятность нормы и пневмонии соответственно равны: [[5.4182870e-05 9.9994576e-01]]

На рентгеновском снимке обнаружена пневмония.

Результат классификации приведен на рис. 9.



Рис. 9. Результат классификации рентгенологического снимка

9. Сравнение полученных метрик классификации с результатами опубликованных исследований

Рентгенологические снимки грудной клетки Д. Кермани, К. Чжана и М. Голдбаума (Kermany dataset) являются популярным медицинским набором данных, используемым международными научными коллективами для исследований в области глубокого обучения. Так, в работе [8] приведен обзор статей, посвящённых этому набору: различные группы исследователей, применяя архитектуры сверточных нейронных сетей GoogLeNet, ResNet-18 и DenseNet-121, достигли на этом наборе значений accuracy и AUC, превышающих 0,97¹.

Авторы этой статьи достигли значений accuracy, равного 0,89, и AUC, равного 0,87, что на 10 % ниже лучших опубликованных результатов зарубежных исследований. Повышение точности классификации возможно осуществить за счет подбора параметров обучения сети, а также изменения её архитектуры.

Заключение

Диагностика пневмонии на рентгенологических снимках может эффективно осуществляться с использованием сверточной нейронной сети. Авторы статьи разработали программу на языке Python, осуществляющую обучение нейронной сети на базе архитектуры GoogLeNet, расчет метрик классификации и диагностику пневмонии. Было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023619898. Метрики классификации, достигнутые на наборе рентгенологических снимков Д. Кермани, К. Чжана и М. Голдбаума (Kermany dataset), показали значения accuracy, равное 0,89, и AUC, равное 0,87, что на 10 % ниже лучших результатов опубликованных зарубежных исследований. Повышение точности классификации возможно осуществить за счет подбора параметров обучения сети, а также изменения её архитектуры. Дальнейшие работы в этом направлении требуют сбора десятков тысяч рентгенограмм с поставленными диагнозами и проведения надлежащей клинической валидации.

¹ <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256630.t009>

ЛИТЕРАТУРА

1. Chest X-Ray Images (Pneumonia) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> (дата обращения: 06.06.2023).
2. Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., et al. Going deeper with convolutions. Proceedings Of The IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition. pp. 1–9 (2015).
3. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / О. Жерон; пер. с англ. и ред. Ю.Н. Артеменко. — СПб.: ООО «Альфа-книга»: 2018. — 688 с.
4. Implementation of GoogLeNet [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://github.com/Machine-Learning-Tokyo/CNN-Architectures/tree/master/Implementations/GoogLeNet> (дата обращения: 06.06.2023).
5. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Номер регистрации (свидетельства): 2023619898. Название программы для ЭВМ: Программа для диагностики пневмонии на рентгенограммах грудной клетки с помощью сверточной нейронной сети. — Режим доступа: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=078a814e2920f1549ec728f09adba938> (дата обращения: 06.06.2023).

6. Sklearn.metrics.precision_recall_fscore_support. — Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision_recall_fscore_support.html (дата обращения: 06.06.2023).
7. <https://scikit-learn.org/stable/modules/classes.html> — module-sklearn.metricsSklearn.metrics.classification_report. — Режим доступа: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.classification_report.html (дата обращения: 03.06.2023).
8. Kundu R, Das R, Geem ZW, Han G-T, Sarkar R (2021) Pneumonia detection in chest Xray images using an ensemble of deep learning models. PLoS ONE 16(9): e0256630. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256630>.

© Касюк Сергей Тимурович (sergey.kasyuk@gmail.com); Диденко Галина Александровна (pga80@mail.ru);
Степанова Оксана Александровна (okalst@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛАССИФИКАЦИЯ, КАТЕГОРИИ И УРОВНИ СЛОЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ ОШИБОК: ОТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДО ЭКСПЛУАТАЦИИ¹

CLASSIFICATION, CATEGORIES, AND LEVELS OF COMPLEXITY OF SOFTWARE ERRORS: FROM DESIGN TO OPERATION

**D. Makarov
A. Tsaregorodtsev**

Summary. This article conducts research with the aim of systematizing and classifying software errors to simplify the process of their identification, analysis, and resolution. The main goal is to find answers to the following questions: what types and categories of software errors exist, what are their main characteristics and causes, and what are the methods for detecting and correcting various types of errors. To conduct the study, an analysis of existing sources of literature, articles, and documentation related to software development was carried out. The experience of developers and experts in this field was also analyzed [1–7].

During the research, various classifications and categories of software errors were identified and described, including errors by nature, impact, and primary causes; errors by development stages; errors by system impact; errors by type; errors by scope of influence; errors by cause; errors by visibility; errors by methods of detection and correction; and errors by levels of complexity in identification and resolution.

As a result of the study, it was determined that software errors can be divided into different categories and types depending on various aspects, such as the stage of development, impact on the system, type of error, and other parameters. This helps developers better understand and more quickly identify the causes of errors, as well as determine the most effective methods for their resolution.

Keywords: error systematization, error identification, code analysis, testing methods, development stages, types of errors, level of complexity, impact on the system, development processes.

Макаров Дмитрий Александрович

Московский государственный
лингвистический университет
MakarovPostOffice@yandex.ru

Царегородцев Анатолий Валерьевич

Доктор технических наук, профессор,
Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации, Москва
AnVTsaregorodtsev@fa.ru

Аннотация. В данной статье проведено исследование с целью систематизации и классификации программных ошибок для упрощения процесса их идентификации, анализа и устранения. Основной целью было найти ответы на следующие вопросы: какие существуют виды и категории программных ошибок, каковы их основные характеристики и причины возникновения, а также каковы методы обнаружения и исправления различных типов ошибок. Для этого был проведен анализ существующих источников литературы, статей и документации, связанных с разработкой программного обеспечения. Также был проанализирован опыт разработчиков и экспертов в данной области [1–7].

В ходе исследования были выявлены и описаны различные классификации и категории программных ошибок, включая ошибки по характеру, воздействию и основным причинам возникновения, ошибки по стадиям разработки, по воздействию на систему, по типу ошибки, по области влияния, по причине возникновения, по видимости, по способу обнаружения и исправления, а также по уровню сложности выявления и устранения.

В результате исследования было определено, что программные ошибки могут быть разделены на различные категории и типы в зависимости от разных аспектов, таких как стадия разработки, влияние на систему, вид ошибки и других параметров. Это поможет разработчикам лучше понять и быстрее находить причины возникновения ошибок, а также определять наиболее эффективные методы их устранения.

Ключевые слова: систематизация ошибок, идентификация ошибок, анализ кода, методы тестирования, стадии разработки, типы ошибок, уровень сложности, влияние на систему, процессы разработки.

Введение

В современном цифровом мире программное обеспечение является неотъемлемой частью практически всех сфер человеческой деятельности. Однако, несмотря на значительные технологические достижения, проблема программных ошибок остается актуальной. Эти ошибки не только могут привести к сбоям в работе информационных систем, но и стать при-

чиной значительных финансовых потерь и даже угрозы жизни в критически важных приложениях. Поэтому исследование категорий и уровней сложности программных ошибок имеет огромное значение для повышения надежности и безопасности сложных систем, особенно критически важных объектов.

Цель данного исследования заключается в систематизации и классификации программных ошибок с целью упрощения процесса их идентификации, анализа

¹ Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета

и устранения. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Определение основных типов и категорий программных ошибок.
2. Анализ влияния различных видов ошибок на работоспособность системы.
3. Изучение методов обнаружения и исправления ошибок на различных этапах разработки.

Исследование программных ошибок имеет долгую историю, начиная с первых дней разработки программного обеспечения. Однако, несмотря на множество проведенных исследований, до сих пор не существует универсальной системы классификации ошибок, которая бы удовлетворяла потребностям всех разработчиков. В данной статье представлены результаты анализа существующей литературы и опыта разработчиков, что позволяет сделать выводы о наиболее эффективных методах обнаружения и устранения ошибок.

Данное исследование является важным шагом на пути к созданию универсальной системы классификации программных ошибок, что, в свою очередь, будет способствовать повышению качества разрабатываемого программного обеспечения и уменьшению времени и ресурсов, затрачиваемых на исправление ошибок.

Классификация программных ошибок по характеру, воздействию и основным причинам возникновения

Программные ошибки можно разделить на разные категории в зависимости от их характера, влияния и причин возникновения. Основные категории программных ошибок включают:

1. *Уязвимости*: Ошибки, которые могут быть эксплуатированы злоумышленниками для получения несанкционированного доступа, нарушения конфиденциальности, целостности или доступности системы. Уязвимости могут быть результатом слабостей в коде, конфигурации или архитектуре программного обеспечения [2–4].
2. *Недекларируемые возможности*: Непреднамеренные функции или поведение программы, которые не были предусмотрены разработчиками или указаны в документации. Некоторые недедекларируемые возможности могут быть эксплуатированы злоумышленниками, другие могут приводить к некорректной работе программы или улучшению ее функционала [2–3].
3. *Ошибки логики и вычислений*: Ошибки, возникающие из-за неправильной реализации алгоритмов, условий, циклов или других элементов логики программы. Эти ошибки могут привести к неправильным результатам, сбоям или непредсказуемому поведению программы [8–9].

4. *Ошибки ввода/вывода и обработки данных*: Ошибки, связанные с неправильным получением, обработкой, хранением или передачей данных между компонентами программы, файлами или внешними системами. Эти ошибки могут привести к потере, искажению или утечке данных [4, 9].
5. *Ошибки в работе с памятью*: Ошибки, связанные с неправильным выделением, освобождением, использованием или защитой памяти. Эти ошибки могут привести к утечкам памяти, повреждению данных или сбоям программы [8–9].
6. *Ошибки производительности*: Ошибки, которые приводят к снижению скорости, масштабируемости или отказоустойчивости программы. Эти ошибки могут возникнуть из-за неправильного использования ресурсов, алгоритмов или структур данных [2, 9].
7. *Ошибки кодирования и стандартов*: Ошибки, связанные с нарушением стандартов кодирования, стиля или соглашений. Эти ошибки могут затруднить понимание, сопровождение и модификацию программного кода, а также привести к возникновению ошибок в работе программы. Например, это может быть использование неправильных имен переменных, форматирование кода, отступов, комментариев и т.д. [1, 8–9].
8. *Ошибки тестирования*: Ошибки, связанные с неполным, некорректным или отсутствующим тестированием программы. Эти ошибки могут привести к упущению дефектов, не выявлению проблем и непредсказуемому поведению программы [2, 9].
9. *Ошибки развертывания и эксплуатации*: Ошибки, которые могут возникнуть при развертывании, установке или эксплуатации программы. Эти ошибки могут привести к неполадкам, сбоям или отказу программы, а также к уязвимостям безопасности [2–4].

Категории программных ошибок могут пересекаться, так как одна ошибка может принадлежать нескольким категориям. Например, ошибка, связанная с неточной проверкой входных данных, может привести как к ошибке входных данных, так и к ошибке логики.

Категории и типы ошибок программного обеспечения

Здесь представлено краткое изложение исследованной таксономии ошибок безопасности программного обеспечения, которая включает в себя девять категорий, включая ошибки входных данных, ошибки логики, ошибки в работе с памятью, ошибки производительности, ошибки безопасности, ошибки проектирования, ошибки кодирования, ошибки тестирования и ошибки развертывания и эксплуатации. Каждая из этих категорий включает множество типов ошибок, которые могут

привести к уязвимостям и компрометации безопасности программного обеспечения. Наша цель заключалась в том, чтобы помочь разработчикам программного обеспечения понимать различные категории ошибок и уязвимостей, чтобы они могли предотвращать их возникновение.

1. Ошибки входных данных:

Валидация и санитизация данных:

- Неправильная проверка ввода.
- Недостаточная проверка синтаксиса или типа данных.
- Недостаточная проверка формы.
- Неправильная нейтрализация специальных символов.

Управление памятью и буферами:

- Неправильное ограничение операций в пределах буфера памяти.
- Неправильное завершение строки нулем.
- Недостаточная проверка размера буфера перед копированием.

Обработка строк и форматирование:

- Неправильное использование шаблонов форматирования строк.
- Неправильное использование параметров функций.

Обработка символов и кодировки:

- Неправильная обработка символов в кодировке, отличной от ASCII.
- Неправильное использование функций для обработки символов Unicode.
- Неправильная обработка кодировки Unicode.
- Неправильная обработка многоязычных символов.

Проверка и обработка внешних данных:

- Неправильное ограничение ссылок на внешние сущности.
- Недостаточная проверка данных, полученных от API или других внешних систем.
- Неправильная обработка ошибок при получении данных от сторонних источников.

Обработка пользовательского ввода:

- Использование неправильного типа пользовательского ввода.
- Недостаточная проверка типа передаваемых данных.
- Недостаточная проверка вводимых данных в SQL-запросах.
- Недостаточная проверка вводимых данных в командах системной оболочки.

Аутентификация и авторизация:

- Пропуск проверки аутентификации или авторизации при обработке входных данных.
- Неправильная обработка данных, связанных с правами доступа и ролями пользователей.

Обработка времени и даты:

- Недостаточная проверка формата даты и времени в пользовательском вводе.
- Неправильная обработка часовых поясов и смещений времени.

Обработка файлов и путей:

- Недостаточная проверка формата и безопасности путей и имен файлов.
- Неправильная обработка символов в путях и именах файлов.
- Неограниченная загрузка файла с опасным типом [1, 10].

2. Ошибки логики:

Неправильное понимание требований к программе и/или неправильное проектирование программы:

- Недостаточная проверка зависимостей и предусловий.
- Неправильное использование алгоритмов и структур данных.
- Неверное преобразование типов данных.

Ошибки в условиях и циклах.

Недостаточная обработка исключительных ситуаций.

Неправильное выполнение параллельных задач и синхронизация:

- Неучтенные условия гонки при доступе к общим ресурсам
- Неправильное использование примитивов синхронизации

Неправильная работа с функциями и методами.

Неправильное использование библиотечных функций.

Ошибки инициализации переменных и работы с указателями:

- Использование неинициализированных переменных.
- Неверная инициализация переменных.
- Разыменование нулевых или некорректных указателей.
- Неправильное использование ссылок на временные объекты.

Утечки ресурсов и неправильное управление памятью:

- Неосвобождение выделенных ресурсов, таких как память или файловые дескрипторы.
- Недостаточная обработка ошибок при выделении ресурсов.
- Ошибки выделения и освобождения памяти.
- Использование устаревших или небезопасных функций работы с памятью.

Ошибки в обработке ошибок и исключений:

- Игнорирование возможных ошибок и исключений.
- Неправильное восстановление системы после ошибки или исключения.

Ошибки в обработке ввода-вывода:

- Некорректная обработка данных, полученных от пользователя или из других источников.
- Неправильное форматирование и представление данных при выводе.

Ошибки в работе с временем и датами:

- Некорректная обработка часовых поясов и переходов на летнее/зимнее время.
- Использование устаревших или неточных алгоритмов работы с датами и временем.

Неправильное тестирование и отладка:

- Недостаточное покрытие тестами.
- Игнорирование результатов тестирования или неправильная интерпретация результатов [10-11].

3. Ошибки в работе с памятью:

Проблемы с памятью:

- Неверное выделение памяти.
- Неправильное освобождение памяти.
- Утечки памяти и ресурсов.
- Переполнение буфера или стека.
- Нарушение границ массива.

Проблемы с указателями и доступом к памяти:

- Нарушение прав доступа к памяти и защиты памяти виртуальной машины.
- Неправильная работа с указателями.
- Использование висячих указателей после освобождения памяти.

Проблемы с многопоточностью и синхронизацией:

- Состояние гонки при доступе к памяти.
- Неправильное использование атомарных операций и синхронизации.
- Неправильное использование разделяемой памяти в многопоточных приложениях.

Проблемы с инициализацией и управлением объектами:

- Некорректное управление жизненным циклом объектов.
- Нарушение порядка инициализации переменных и ресурсов.
- Использование неинициализированных переменных.

Проблемы с типами данных и приведением типов:

- Некорректное приведение типов и использование неправильных типов данных.

Проблемы с оптимизацией и архитектурными особенностями:

- Проблемы с выравниванием памяти и кэш-коэренции.

4. Ошибки производительности:

Алгоритмы и структуры данных:

- Неверное использование алгоритмов и структур данных.

- Выбор алгоритмов с неоптимальной сложностью.

Управление ресурсами:

- Неверное управление памятью.
- Неправильное использование кеширования.

Сетевое взаимодействие:

- Неправильное использование сетевых запросов.
- Отсутствие сжатия данных и оптимизации передачи данных.

Многопоточность и многопроцессорность:

- Неправильное использование многопоточности и многопроцессорности.
- Излишняя синхронизация или неправильное использование мьютексов и блокировок.
- Неправильное планирование и распределение задач между потоками и процессами.

Оптимизация кода:

- Неиспользование оптимизаций компилятора.
- Отсутствие профилирования и оптимизации кода.
- Излишний код или дублирование кода.

Взаимодействие с библиотеками и API:

- Неправильное использование сторонних библиотек и API.
- Использование синхронного программирования, когда асинхронное подходит лучше.

Работа с базами данных:

- Отсутствие или неправильное использование индексов в базах данных.

Графика и медиа-ресурсы:

- Отсутствие оптимизации загрузки и отображения изображений и других медиа-ресурсов.
- Отсутствие оптимизации рендеринга графических элементов.

Обработка событий:

- Неправильное управление событиями и обработка событий.

Виртуализация:

- Неправильное использование виртуальных машин и контейнеров [11, 13].

5. Ошибки безопасности:

Управление доступом и аутентификация:

- Недостаточная проверка прав доступа.
- Неправильное управление доступом к данным и ресурсам.
- Недостаточное шифрование данных.
- Неправильная работа с сессиями.
- Ошибки в процессе аутентификации и авторизации.

Обработка данных и пользовательского ввода:

- Неправильная обработка пользовательского ввода.
- Недостаточная обработка внешних данных.
- Недостаточная проверка передаваемых данных.
- Неправильная валидация данных.

Коммуникация и сетевые протоколы:

- Использование незащищенных каналов связи.
- Неправильная обработка сетевых протоколов и запросов.
- Неправильная обработка ошибок в сетевых запросах.
- Неправильная обработка сетевых протоколов.

Компоненты и дополнительные функции:

- Уязвимости в компонентах и библиотеках.
- Уязвимости в дополнительных функциях (API, мобильные приложения, IoT).

Конфигурация и управление инцидентами:

- Ошибки в настройках безопасности сервера и приложения.
- Утечка информации.
- Ошибки в процессе управления инцидентами и инфраструктурой.

Организационный и человеческий факторы:

- Инсайдерские угрозы и ошибки сотрудников [13].

6. Ошибки проектирования

Архитектурные ошибки:

- Недостатки архитектуры.
- Неправильное разделение ответственности между компонентами.
- Недостаточная модульность и расширяемость системы

Ошибки в выборе алгоритмов и структур данных:

- Неправильный выбор алгоритмов и структур данных.

Ошибки в проверке требований и валидации:

- Недостаточная проверка требований и валидации.

Ошибки в документации:

- Недостатки в документации.

Ошибки, связанные с производительностью и ресурсами:

- Неучтенные ограничения производительности и ресурсов.
- Пренебрежение производительностью и оптимизацией.
- Недооценка требований к памяти, CPU и пропускной способности.

Ошибки в обработке ошибок и исключений:

- Недостатки в обработке ошибок и исключений.
- Отсутствие обработки исключений и ошибок.
- Неправильное восстановление после сбоев.

Ошибки в обеспечении безопасности:

- Проблемы с безопасностью.
- Неучтенные риски и уязвимости.
- Отсутствие шифрования и аутентификации, где это необходимо.

Ошибки, связанные с масштабированием и поддержкой:

- Неучтенные проблемы масштабирования и поддержки.
- Сложность поддержки и обновления системы [12].
- Отсутствие планирования на будущее масштабирование.

7. Ошибки кодирования

Ошибки в логике, структуре и функциональности кода:

- Ошибки логики и вычислений.
- Неправильная обработка ошибок и исключительных ситуаций.
- Неправильное использование контрольных структур (циклы, условия, и т.д.).
- Несоответствие кода требованиям по функциональности и бизнес-логике.

Ошибки при работе с внешними ресурсами и инструментами:

- Некорректное использование API и сторонних библиотек.
- Неэффективное использование баз данных и операций с ними.
- Ошибки в работе с пользовательским вводом и валидацией данных.

Ошибки, связанные с проектированием и архитектурой кода:

- Неправильная работа с наследованием и полиморфизмом.
- Неправильное применение шаблонов проектирования.
- Недостаточное разделение ответственности между компонентами системы (нарушение принципов SOLID).
- Нарушение принципов модульности и инкапсуляции.

Ошибки, связанные с производительностью и оптимизацией:

- Недостаточная оптимизация кода и производительности.
- Утечки памяти и неправильное управление ресурсами.
- Ошибки при работе с многопоточностью, безопасностью и кодированием:
- Неправильное использование многопоточности и синхронизации.
- Небезопасное программирование, ведущее к уязвимостям и атакам.
- Ошибки, связанные с кодированием и обработкой символов различных языков (Unicode).

Ошибки, связанные с поддержкой, тестированием и оформлением кода:

- Отсутствие или недостаточное тестирование и проверка кода.
- Непонятный или сложный код, затрудняющий понимание и поддержку.

- Отсутствие или недостаточная документация кода.
- Нарушения стандартов кодирования.
- Неправильное использование глобальных переменных.
- Синтаксические ошибки [13].

8. Ошибки тестирования

Планирование и стратегия тестирования:

- Ошибки в планировании и проектировании тестов.
- Недостаточная автоматизация тестирования.
- Отсутствие четкой стратегии тестирования.
- Недостаточное время на тестирование.
- Ошибки в оценке приоритетов тестирования.

Взаимодействие и коммуникация:

- Неясные или неполные требования к продукту.
- Недостаточное взаимодействие с разработчиками.
- Игнорирование обратной связи от пользователей.

Технические аспекты тестирования:

- Проблемы с регрессионным тестированием.
- Проблемы с тестовыми данными.
- Некорректное использование инструментов тестирования.
- Проблемы с выполнением тестов.
- Ошибки в анализе и интерпретации результатов тестирования.
- Неправильная настройка среды тестирования.
- Несоблюдение правил построения и развертывания.

Обучение и документация:

- Пренебрежение документацией.
- Пренебрежение непрерывным обучением.

Специфические виды тестирования:

- Недооценка важности тестирования безопасности.
- Неадекватное тестирование краевых случаев.
- Игнорирование нагрузочного тестирования.
- Пренебрежение тестированием пользовательского опыта (UX).
- Отсутствие тестирования на различных платформах и устройствах.
- Игнорирование тестирования интеграции.
- Недостаточное покрытие тестами.
- Игнорирование тестирования внешних зависимостей.

Процессы и стандартизация:

- Отсутствие контроля качества и процессов управления ошибками.
- Отсутствие систематического ручного тестирования.
- Непостоянство в процессе тестирования.

- Отсутствие контроля над изменениями.
- Отсутствие мониторинга и анализа результатов тестирования [10-11].

9. Ошибки развертывания и эксплуатации

Настройка и конфигурация:

- Неправильная настройка серверов и сетевых настроек.
- Недостатки в управлении конфигурацией.
- Проблемы с установкой и настройкой ПО.

Безопасность и соответствие:

- Недостаточная безопасность и настройка мер безопасности.
- Несоблюдение стандартов и регулятивных требований.

Масштабирование и производительность:

- Проблемы с масштабированием и отказоустойчивостью системы.
- Недостаточное планирование мощности и ресурсов.

Обновления и управление изменениями:

- Проблемы с обновлениями и патчами.
- Недостаточное управление изменениями.

Мониторинг и восстановление:

- Проблемы с мониторингом и резервным копированием.
- Отсутствие стратегии восстановления после сбоев.

Организационные аспекты:

- Отсутствие автоматизации процессов.
- Неэффективная документация и обучение персонала.
- Слабая коммуникация между командами [6, 10, 14].

Классификации ошибок в программном обеспечении

По стадиям разработки:

- Ошибки проектирования: возникают на этапе проектирования архитектуры или планирования программного продукта.
- Ошибки кодирования: возникают во время написания исходного кода.
- Ошибки тестирования: возникают при выполнении тестов и анализе результатов.
- Ошибки развертывания: возникают при установке и настройке программного обеспечения.
- Ошибки эксплуатации: возникают в процессе работы программы на этапе поддержки и обслуживания.

По воздействию на систему:

- Критические ошибки: приводят к сбоям, потере данных или нарушению безопасности.

- Серьезные ошибки: ограничивают функциональность системы или вызывают некорректное поведение.
- Мелкие ошибки: влияют на отдельные функции или элементы пользовательского интерфейса, но не мешают работе системы в целом.

По типу ошибки:

- Синтаксические ошибки: нарушения правил языка программирования [8, 15].
- Логические ошибки: некорректная логика программы или алгоритма [16].
- Ошибки времени выполнения: возникают при запуске программы из-за неправильной работы с памятью, файлами, сетью и другими ресурсами [8, 15].

По области влияния:

- Ошибки безопасности: приводят к уязвимостям и возможности атак злоумышленников [16].
- Ошибки производительности: снижают скорость работы программы или вызывают чрезмерное потребление ресурсов [17].
- Ошибки совместимости: вызывают проблемы при работе с другими программами, операционными системами или устройствами.
- Ошибки пользовательского интерфейса: приводят к проблемам в восприятии и взаимодействии с программой со стороны пользователей [15].

По причине возникновения:

- Ошибки человеческого фактора: вызваны недостатками знаний, опыта или внимания разработчика.
- Ошибки процессов и методологий: возникают из-за недостаточно четко определенных или неэффективных процессов разработки [14, 18].
- Ошибки инструментальных средств: связаны с некорректной работой инструментов разработки, тестирования или сборки программного обеспечения.

По видимости:

- Явные ошибки: проявляются непосредственно при работе программы, заметны пользователям или разработчикам.
- Скрытые ошибки: остаются незамеченными в обычных условиях работы программы, проявляются только при определенных комбинациях входных данных или состояний системы.

По способу обнаружения и исправления:

- Ошибки, обнаруженные в процессе разработки: находятся разработчиками на этапе написания кода, тестирования или код-ревью.
- Ошибки, обнаруженные пользователями: выявляются пользователями программы после ее выпуска и требуют выпуска обновлений или патчей.

- Классификация ошибок может быть полезна для анализа и улучшения процессов разработки, а также для определения приоритетов при исправлении обнаруженных проблем. Однако стоит учитывать, что в реальных проектах многие ошибки могут сочетать в себе несколько характеристик из разных классификаций.

Классификация ошибок программного обеспечения по уровню сложности их выявления и устранения

1. Низкий уровень сложности:

- Синтаксические ошибки: Ошибки, связанные с нарушением правил языка программирования, которые обычно легко обнаруживаются компиляторами или интерпретаторами.
- Ошибки стиля кодирования: Нарушения принятых стандартов и рекомендаций по написанию кода, которые можно обнаружить с помощью инструментов статического анализа кода.

2. Средний уровень сложности:

- Логические ошибки: Ошибки в алгоритмах и структурах данных, которые могут привести к неправильной работе программы. Выявление таких ошибок обычно требует тестирования, отладки или код-ревью [20–22].
- Ошибки обработки ошибок и исключений: Неправильная обработка ошибочных ситуаций, которая может привести к непредсказуемому поведению программы или потере данных.

3. Высокий уровень сложности:

- Проблемы производительности: Ошибки, связанные с медленной работой программы или излишним использованием ресурсов. Они могут быть результатом неправильного выбора алгоритмов, структур данных или неправильной оптимизации кода.
- Уязвимости безопасности: Ошибки, которые могут быть эксплуатированы злоумышленниками для получения несанкционированного доступа или нарушения конфиденциальности, целостности и доступности системы. Выявление и устранение таких ошибок требует специальных знаний и инструментов.

4. Очень высокий уровень сложности:

- Архитектурные и дизайнерские ошибки: Ошибки, связанные с проектированием системы, такие как неправильное разделение ответственности между компонентами, недостаточная модульность и расширяемость. Обнаружение и исправление таких ошибок может потребовать значительных изменений в коде и архитектуре системы [23].

— Недекларируемые возможности: Непреднамеренные функции или поведение программы, которые не были предусмотрены разработчиками или указаны в документации. Они могут быть результатом сложного взаимодействия между компонентами системы, ошибками разработчиков или неправильным пониманием требований. Выявление и устранение недекларируемых возможностей может потребовать глубокого анализа кода, тестирования и ревью процессов разработки.

5. Критический уровень сложности:

— Ошибки совместимости: Ошибки, связанные с неправильным взаимодействием программного обеспечения с другими системами, библиотеками, стандартами или протоколами. Они могут привести к неправильной работе программы, потере данных или нарушению безопасности и могут потребовать значительных изменений в коде для их устранения.

— Ошибки в развертывании и эксплуатации: Ошибки, связанные с установкой, настройкой, мониторингом и обслуживанием программного обеспечения. Они могут привести к проблемам с доступностью, масштабируемостью и отказоустойчивостью системы, и их устранение может потребовать изменений в инфраструктуре, процессах и инструментах.

Стоит отметить, что границы между этими категориями ошибок могут быть размытыми, и некоторые ошибки могут относиться к нескольким категориям одновременно. Кроме того, сложность выявления и устранения ошибок может варьироваться в зависимости от контекста, опыта команды разработчиков и доступных инструментов.

Уровень сложности ошибок, который мы предложили, определен на основе нашего понимания и обобщения различных аспектов ошибок в программном обеспечении. Он основан на таких характеристиках и критериях, как:

1. Влияние на программное обеспечение: ошибки с большим влиянием на работу программы, безопасность или стабильность обычно считаются более сложными.
2. Сложность выявления: ошибки, которые трудно обнаружить и требуют значительных усилий, знаний или опыта для их выявления, считаются более сложными.
3. Сложность исправления: ошибки, которые затрудняют исправление, из-за сложных взаимосвязей в коде, архитектурных ограничений или недостатка знаний, считаются более сложными.
4. Зависимость от контекста: ошибки, которые зависят от специфических контекстов использования,

среды или технологии, могут быть более сложными из-за необходимости разбираться во всех деталях и особенностях.

5. Неоднозначность: ошибки, которые имеют множество потенциальных причин, источников или сценариев взаимодействия, могут быть более сложными из-за необходимости учитывать все возможные аспекты.
6. Вероятность возникновения: ошибки, которые возникают редко или только при определенных наборах условий, могут считаться более сложными, поскольку их труднее воспроизвести и выявить.
7. Влияние на пользователя: ошибки, которые сильно сказываются на пользовательском опыте или могут привести к потере данных, могут считаться более сложными, так как они могут повлечь за собой серьезные последствия для пользователей и требуют оперативного решения.
8. Воспроизводимость: ошибки, которые сложно воспроизвести или проявляются непоследовательно, могут быть более сложными для анализа и исправления, так как это затрудняет точное определение причины и механизма возникновения.
9. Коммуникация и координация: ошибки, которые требуют координации между разными командами, отделами или сторонними разработчиками, могут быть более сложными из-за необходимости согласования действий и обмена информацией.
10. Требования к документации и процессам: ошибки, которые затрагивают существующую документацию или процессы, могут быть более сложными, так как их исправление может потребовать обновления документации или изменения процессов разработки.

Предложенный список критериев предназначен для оценки сложности ошибок в программном обеспечении и включает в себя разнообразные аспекты, которые могут влиять на сложность ошибок. Он предназначен для специалистов и команд разработчиков для лучшего оценивания и приоритизации ошибок, а также определения необходимых ресурсов и усилий для их исправления.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы и классифицированы программные ошибки, что позволит упростить их идентификацию, анализ и устранение, и в конечном итоге повысить качество разрабатываемого программного обеспечения и уменьшить время, затрачиваемое на выявление и исправление ошибок. Авторы постарались ответить на вопросы о различных категориях и типах программных ошибок, их характеристиках и причинах возникновения, а также методах обнаружения и исправления.

Важность такой классификации заключается в том, что она является основой для создания эффективных методик тестирования, процессов разработки и профилактики возникновения ошибок. Таким образом, результаты данного исследования могут быть полезными для разработчиков, тестировщиков, а также специалистов в области управления проектами и процессами разработки программного обеспечения.

Программные ошибки могут быть классифицированы по различным аспектам, таким как характер, воздействие, причины возникновения, стадии разработки, воздействие на систему, тип ошибки, область влияния и другие параметры.

Разработчики и тестировщики могут использовать классификацию ошибок для ускорения процесса вы-

явления и устранения проблем, определения наиболее эффективных методов их решения и снижения рисков возникновения новых ошибок.

Знание классификаций и типов ошибок поможет лучше понять их влияние на программное обеспечение, сложность выявления и исправления, зависимость от контекста и неоднозначность.

В перспективе, результаты этой статьи могут послужить основой для создания инструментов по автоматическому обнаружению и исправлению ошибок, а также совершенствованию существующих методик тестирования и процессов разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Martin, R.C. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship. Prentice Hall, 2008. 464 p. ISBN: 978-0132350884.
2. Kim, G., Debois, P., Willis, J., Humble, J. The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations. IT Revolution Press, 2016. 480 p. ISBN: 978-1942788003.
3. Johnsson, D.B., Deogun, D., Sawano, D. Secure by Design. Manning Publications, 2018. 256 p. ISBN: 978-1617294358.
4. Adkins, H., Beyer, B., Blankinship, P. Building Secure and Reliable Systems: Best Practices for Designing, Implementing, and Maintaining Systems. Google, 2020. 228 p. ISBN: 978-1492083122.
5. Zalewski, M. The Tangled Web: A Guide to Securing Modern Web Applications. No Starch Press, 2011. 320 p. ISBN: 978-1593273880.
6. Fowler, M. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. Addison-Wesley, 2018. 448 p. ISBN: 978-0134757599.
7. Блохина О., Царегородцев А.В. Классификация параметров, влияющих на критичность инцидента информационной безопасности // В книге: Collegium Linguisticum — 2019. Тезисы докладов ежегодного научного студенческого общества МГЛУ. 2019. с. 286.
8. McConnell, S. Code Complete: A Practical Handbook of Software Construction. Microsoft Press, 2004.
9. Sommerville, I. Software Engineering. Addison-Wesley, 2015.
10. Hunt, A., Thomas, D. The Pragmatic Programmer: Your Journey to Mastery. Addison-Wesley, 2019. 352 p. ISBN 978-0-13-595705-9.
11. Bloch, J. Effective Java. Addison-Wesley, 2018. 416 p. ISBN 978-0-13-468599-1.
12. Desikan, S., Ramesh, G. Software Testing: Principles and Practices. Pearson Education, 2006. 580 p. ISBN 978-81-7758-165-2.
13. Humble, J., Farley, D. Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation. Addison-Wesley, 2010. 512 p. ISBN 978-0-321-60191-9.
14. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1994. 395 p. ISBN 978-0-201-63361-0.
15. Myers, G.J., Sandler, C., Badgett, T. The Art of Software Testing. Wiley, 2011. 256 p. ISBN 978-1-118-20605-0.
16. Agans, D.J. Debugging: The 9 Indispensable Rules for Finding Even the Most Elusive Software and Hardware Problems. AMACOM, 2006. 192 p. ISBN 978-0-8144-0889-8.
17. Brooks, F.P. The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering. Addison-Wesley, 1995. 336 p. ISBN 978-0-201-83595-3.
18. Martin, R.C. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. Prentice Hall, 2017. 432 p. ISBN 978-0-13-449416-6.
19. Sipser, M. Introduction to the Theory of Computation. Cengage Learning, 2012. 482 p. ISBN 978-1-133-18779-0.
20. Zeller, A. Why Programs Fail: A Guide to Systematic Debugging. Elsevier, 2009. 400 p. ISBN 978-1-55860-866-0.
21. Kaner, C., Bach, J., Pettichord, B. Lessons Learned in Software Testing: A Context-Driven Approach. Wiley, 2001. 320 p. ISBN 978-0-471-08112-1.
22. Spolsky, J. Joel on Software. Apress, 2004. 384 p. ISBN 978-1-59059-389-9.
23. Rubin, K. Essential Scrum: A Practical Guide to the Most Popular Agile Process. Addison-Wesley, 2012. 500 p. ISBN 978-0-13-704329-3.

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ МОНИТОРИНГОМ ЭМИССИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Мохмдхуссин Алаа Назин Мохмдхуссин
Аспирант, МИРЭА — Российский
технологический университет, Москва
ciop@misis.ru

DEVELOPMENT OF PRINCIPLES FOR THE FUNCTIONING OF A PROBLEM-ORIENTED SYSTEM FOR MANAGING ENVIRONMENTAL MONITORING OF POLLUTANT EMISSIONS DURING THE GENERATION OF INDUSTRIAL WASTE

Mohmedhussen Alaa Nazeeh Mohmedhussen

Summary. The paper considers approaches to the formation of principles for the functioning of a problem-oriented system for managing environmental monitoring of pollutant emissions during the formation of industrial waste. The aim of the work is to improve the environmental management of an industrial enterprise based on optimizing the level of impact of industrial waste on environmental objects. The developed approaches are based on the possibility of real-time transmission of large amounts of digital data on the presence, concentration and toxicity of a wide range of pollutants migrating from the industrial waste landfill. Statistical processing of the received environmental monitoring information made it possible to determine the volumes of the maximum possible disposal of a certain type of industrial waste and plan a set of measures for the effective organization of the processes of storage, conservation, evacuation and possible options for processing certain types of waste. The task of choosing the best options for efficient recovery and disposal of industrial waste to minimize the harmful effects of pollutants on the main components of the environment was solved using a set of evaluation criteria for decision-making under conditions of nature's uncertainty. To form the selection functions, indicators of greenhouse gas emissions and the calculation of the carbon footprint over the entire life cycle of certain types of industrial waste, from direct production, use in the technological cycle, and to final disposal, were used. The environmental studies carried out formed the basis for the development of proposals for improving the activities of an industrial enterprise in the field of environmental protection and nature management, as well as strengthening the position of sustainable development during the operation and liquidation of the production process.

Keywords: industrial waste; emission of pollutants; monitoring system; carbon footprint; rational reclamation waste recovery; decision criteria.

Аннотация. В работе рассмотрены подходы к формированию принципов функционирования проблемно-ориентированной системы управления экологическим мониторингом эмиссий загрязняющих веществ при образовании производственных отходов. Целью работы является совершенствование управления природопользованием промышленного предприятия на основе оптимизации уровня воздействия производственных отходов на объекты окружающей природной среды. Разработанные подходы основаны на возможностях передачи в режиме реального времени больших объемов цифровых данных о наличии, концентрации и токсичности широкого спектра загрязняющих веществ, мигрирующих из полигона производственных отходов. Статистическая обработка полученной информации экологического мониторинга позволила определить объемы максимально возможного размещения определенного вида производственных отходов и спланировать комплекс мероприятий по эффективной организации процессов складирования, консервации, эвакуации и возможных вариантов переработки определенных видов отходов. Задача выбора оптимальных вариантов эффективной рекуперации и утилизации производственных отходов для минимизации вредных воздействий загрязняющих веществ на основные компоненты окружающей природной среды была решена с использованием комплекса оценочных критериев принятия решений в условиях неопределенности природы. Для формирования функций выбора были использованы показатели эмиссии парниковых газов и расчет углеродного следа на всем жизненном цикле определенных видов производственных отходов, от непосредственного производства, использования в технологическом цикле и до конечной утилизации. Проведенные экологические исследования легли в основу разработки предложений по совершенствованию деятельности промышленного предприятия в области охраны окружающей среды и природопользования, а также укрепления позиций устойчивого развития в период эксплуатации и ликвидации производственного процесса.

Ключевые слова: производственные отходы; эмиссия загрязняющих веществ; система мониторинга; углеродный след; рациональная рекультивация, рекуперация отходов; критерии принятия решений.

Введение

В результате проведенных экологических исследований были выявлены основные виды воздействия производственной деятельности на объекты окружающей среды на территории промышленного предприятия. [1,2] Весь этот спектр воздействий должен быть устранен в процессе ликвидации последствий недропользования и проведения комплекса рекультивационных работ для возврата земель в народное хозяйство. В целях минимизации воздействия на объекты окружающей среды и, тем самым, сокращения затрат на окончательную ликвидацию, в процессе всего жизненного цикла функционирования предприятия необходимо вести всестороннюю и постоянную оценку возможного негативного эффекта воздействия на окружающую природную среду в режиме непрерывного производственного экологического контроля и мониторинга факторов экологического риска [3,4]. При этом, анализ рисков предопределяет необходимость внесения значительных изменений в планы управления в области охраны окружающей среды и требует разработки научно-обоснованных мероприятий и программ, способствующих не только оперативному реагированию на случайные загрязнения объектов окружающей среды в результате производственной деятельности и предотвращающие вероятные воздействия, но и позволяющих заблаговременно выработать эффективный комплекс процедур долгосрочной экологической направленности [5,6].

Актуальность

Анализ деятельности производственного предприятия в области охраны окружающей среды и природопользования позволил выявить ряд недостатков в данной сфере. Многие данные по эмиссиям являются расчетными и не отражают реальную картину выбросов источников загрязняющих веществ от функционирования основных технологических циклов производственного процесса предприятия. При этом отсутствует распределение отходов по видам, а в отчетности представлены объемы в укрупненных формах, а непосредственные нормативы образования отходов производства и потребления зачастую значительно выше их реального фактического количества. К тому же, в такой постановке нет четкого понимания объемов, калькуляции затрат и необходимого перечня производственных манипуляций для распределения твердо-бытовых отходов на категории, поддающиеся повторной переработке и утилизируемых безвозвратно [7].

В этой связи для непосредственного отслеживания показателей эмиссий загрязняющих веществ от производственно-хозяйственной деятельности в окружающую природную среду предлагается осуществить ин-

теграцию в существующие информационные системы предприятия автоматизированной системы управления производственным экологическим мониторингом АСУ ПЭМ. Данная система позволяет на основе имеющихся датчиков в области стационарных источников эмиссий технологических циклов предприятия в режиме реального времени обеспечить передачу цифровых данных о наличии и концентрации широкого спектра загрязняющих веществ в ситуационные центры принятия управленческих решений [8].

В такой постановке внедрение АСУ ПЭМ предоставит новые возможности в рамках следующих направлений: повышение качества планирования, прогнозирования и мониторинга негативных воздействий деятельности предприятия на окружающую природную среду (визуализация результатов, экологический мониторинг; эффективное планирование экологических исследований); повышение качества взаимодействия с общественными организациями в сфере охраны окружающей среды и природопользования, контролирующими государственными органами и другими стейкхолдерами; оптимизация планирования капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с вопросами закрытия предприятий и рекультивации нарушенных земель по сформированной базе данных показателей экологического мониторинга [9,10].

Непосредственное использование на предприятии АСУ ПЭМ позволит организовать централизованный сбор и специализированный статистический анализ данных экологического мониторинга, а также автоматизировать контроль над пороговыми значениями загрязняющих веществ (своевременное выявление источников выбросов превышающих ПДК) и экологическим состоянием объектов окружающей среды, сопряженных с основными технологическими циклами производственного процесса и прилегающих к нему территорий.

Использование АСУ ПЭМ позволит получить цифровые данные о объемах загрязняющих веществ, выделяемых из одного стационарного источника, энергетической мощности данного источника загрязнения, определить виды загрязняющих веществ, подлежащих автоматическому контролю. Автоматизированный мониторинг проводится путем установления средств диагностики, осуществляющих непрерывные измерения за эмиссиями на источниках загрязнения. При этом производится подбор средств измерений с учетом специфики и условий производственного процесса, типов технологического оборудования, конструктивных особенностей, компоновки, технологических параметров, требований технической и информационной безопасности, удобства и качества обслуживания. Данные со средств измерений, осуществляющих непрерывный мониторинг эмиссий загрязняющих веществ, передаются

в режиме реального времени (онлайн) в цифровом виде для дальнейшего анализа и принятия решений в информационную систему предприятия. Функционал системы позволит настроить периодичность контроля, необходимые пределы допустимых погрешностей измеряемых параметров концентраций загрязняющих веществ, текущие и накопленные выбросы загрязняющих веществ, а также решить ряд других технических и программных вопросов, обязательных при вводе в эксплуатацию контрольно-измерительной аппаратуры [11].

Решение задач минимизации воздействия производственной деятельности на окружающую природную среду и совершенствования управления природопользованием было рассмотрено на примере функционирования модуля АСУ ПЭМ «Мониторинг эмиссии загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления». При осуществлении производственного мониторинга эмиссий загрязняющих веществ от отходов производства и твердо-бытовых отходов производится четкое распределение отходов на категории, поддающиеся повторной переработке и утилизируемые безвозвратно, фиксация фактических объемов вновь образованных отходов и наличие переходящих остатков. Кроме того, в модуле осуществляется анализ и контроль фактического образования отходов производства и потребления по различным видам и категориям, и в случае значительного превышения или снижения нормативов образования отходов производится корректировка в соответствии с экологическими нормативами [12].

Объем допустимого (максимально возможного) размещения определенного k -го вида отходов ($V_{po}(k)$) на территории предприятия рассчитывается с учетом данных мониторинга о состоянии отдельных компонентов окружающей природной среды (водные ресурсы, поверхностный почвенный слой, атмосферный воздух) и уровня соответствующих загрязняющих веществ, мигрирующих из мест заскладированных отходов.

$$V_{po}(k) = \frac{V_{oo}(k)K_{pp}}{\sum_{j=1}^m \sqrt{1 + \sum_{i=1}^n \omega_{ij} \left(\frac{M_{ij}}{ПДК_{ij}} - 1 \right)}}$$

где $V_{oo}(k)$ — объем образования k -го вида отходов производства и потребления;

$j = \overline{1, m}$ — индекс среды загрязнения отходами (воздух, вода, земля);

$i = \overline{1, n}$ — индекс загрязняющих веществ в определенной среде j ;

ω_{ij} — коэффициент изоэффективности для определенного класса опасности i -го загрязняющего вещества в j -й среде загрязнения;

K_{pp} — коэффициент рациональности рекультивации геотехнологического полигона, численно равный отношению плановой и фактической площадей рекультивационных земель на текущую дату;

$ПДК_{ij}$ — значение предельно допустимой концентрации i -го загрязняющего вещества в j -й среде загрязнения;

M_{ij} — значение концентраций i -го загрязняющего вещества в j -й среде загрязнения, определенное в результате мониторинга эмиссий.

Таким образом, исходя из традиционных подходов к экологическим расчетам нетрудно заметить, что $V_{po}(k)$ есть некоторая функция от M_{ij} , определяемых по данным экологического мониторинга эмиссий загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления $V_{po}(k) = f(V_{oo}(k), M_{ij})$, а эффективная организация на предприятии процессов складирования, консервации, эвакуации и переработки определенных видов отходов производства и потребления минимизирует воздействия производственно-хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и максимально предотвращает ее загрязнение. В такой постановке у предприятия появляется возможность планирования определенных видов работ, а в некоторых случаях и их сознательное исключение, ведущих к загрязнению продуктами эмиссии из складированных отходов почвенного слоя, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных водных источников [13]. В конечном итоге, планирование экологических мероприятий и программ по снижению количества производственных отходов, а также их рациональной и эффективной рекуперации и утилизации создают потенциальные возможности для минимизации вредных воздействий загрязняющих веществ на основные компоненты окружающей природной среды в геотехнологическом ландшафте функционирования предприятия. На рассмотренном примере мониторинга эмиссии загрязняющих веществ (таблица 1) показатели уровня загрязнения значительно меньше единицы, что свидетельствует о допустимых уровнях объемов образования отходов на полигоне и их непосредственного воздействия в виде загрязняющих веществ на окружающую природную среду (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный слой).

Для планирования дальнейших действий в сфере управления отходами в рамках разработанной системы предлагается использование расчетов углеродного следа для каждого вида отходов и соответствующей эмиссии парниковых газов. Такой подход предопределяет необходимость в пошаговой реализации следующего алгоритма: 1. определение типа и массы отходов предприятия; 2. расчет углеродного следа с учетом всех про-

Таблица 1.

Расчет показателей уровня загрязнения по данным мониторинга эмиссии загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления в АСУ ПЭМ (демонстрационный пример)

Загрязняющие вещества (ЗВ) $i = \overline{1, n}$	Среда загрязнения ($j = \overline{1, 3}$)							
	Атмосферный воздух		Водный бассейн			Почвенный слой		
	ПДК, мг/м ³	Концентрация $M_{j,r}$ мг/м ³	(ЗВ)	ПДК, мг/м ³	$M_{j,r}$ мг/м ³	(ЗВ)	ПДК, мг/м ³	$M_{j,r}$ мг/м ³
Пыль неорганическая	0,5	0,0965	Cl ⁻	350	1370	Mn	0,0	30,928
Сероводород	0,008	0,0012	NO ²⁻	3	0,046	Cd	0,0	0,003
Пары серной кислоты	0,3	0,0753	NO ³⁻	45	2,544	Pb	32	0,003
Аммиак	0,2	0,0457	NH ⁴⁺	2	0,305	Zn	23	0,001
Диоксид азота	0,2	0,0621	SO ₄ ²⁻	500	25,431	Cu	3	0,2349
Показатель уровня загрязнения среды		-0,834		0,235			0,261	

цессов в которых данный вид отхода был задействован в производственном процессе — жизненный цикл отходов (производство, транспортировка, непосредственное использование, утилизация). 3. сравнительный анализ различных вариантов переработки отходов с позиции затрат и наличия углеродного следа. 4. Обоснование и выбор наиболее эффективных вариантов утилизации и переработки отходов с минимальным углеродным следом и оптимальным уровнем производственных затрат.

Расчет эмиссии парниковых газов для отходов предприятия произведен по методу WARM. Модель Waste Reduction Model (WARM) является инструментом, предназначенным для оценки и снижения выбросов парниковых газов и других воздействий на окружающую среду, связанных с управлением отходами. При этом WARM обеспечивает регулярную оценку потенциального экологического эффекта от различных мероприятий и программ, связанных с сокращением уровня производственных отходов предприятия. Данный инструмент основан на учете показателей всего жизненного цикла отходов, и позволяет проводить сравнительные анализы различных методов обработки отходов, включая их сжигание, переработку и складирование на полигонах. Он также учитывает влияние на окружающую среду каждого этапа управления отходами, включая сбор, транспортировку и обработку. WARM использует информацию о составе отходов, количестве обрабатываемых отходов и энергетических параметрах различных методов управления отходами, чтобы определить их воздействие на окружающую среду. Он может быть использован для оценки выбросов парниковых газов, потребления энергии и других экологических аспектов для различных категорий отходов, таких как пищевые отходы, бумага, пластик и металлы. Целью WARM является предоставление информации, которая может помочь предприятию принимать обоснованные решения по снижению выбросов парниковых газов и энергетической эффективности при

управлении отходами. Он может быть использован для разработки стратегий сокращения отходов, принятия решений о выборе методов обработки отходов и оценки экологической эффективности этих методов. Важно отметить, что для точного расчета углеродного следа для конкретных отходов необходимо иметь доступ к специфическим данным о составе отходов и параметрах методов обработки, а также учитывать локальные условия и особенности системы управления отходами. В целом, WARM представляет собой ценный инструмент для оценки и снижения углеродного следа отходов. Он помогает организациям и учреждениям принимать информированные решения в области устойчивого управления отходами, способствуя сокращению выбросов парниковых газов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. В методе WARM вычисляется относительное значение углеродного следа между базовым и альтернативным сценарием, можно исследовать и сравнить несколько вариантов [14,15].

Полученные результаты дают возможность оценить вклад отходов в общую эмиссия парниковых газов предприятия (таблица 2). По результатам расчета можем сказать, что эмиссия парниковых газов составляет около 138,94 т в случае захоронения, 86,53 т в случае сжигания и 37,58 т в случае переработки.

Для определения приоритетности мероприятий (рекуперация, захоронение, сжигание и тп.) по дальнейшему обращению с различными видами отходов в работе предлагается использовать классические критерии принятия решений в условиях неопределенности природы (Вальда (MM), Сэвиджа (S), Гурвица (HW)) (таблица 3).

В ходе проведенных исследований было установлено, что основной градиент (разработка мероприятий и приоритетность финансирования) в области обращения с отходами с позиции эмиссии парниковых газов

Таблица 2.

Исходные данные по эмиссии парниковых газов для отходов предприятия

Наименование отходов	Среднее значение объема, т	Доля от общего количества, %	Эмиссия парниковых газов, т CO ₂ экв.				
			Производство	Предотвращение образования	Переработка	Захоронение	Сжигание
ТБО	182,72	73,22	н/д	н/д	н/д	56,5	1,67
Строительный мусор	15,811	6,34	3,41	-3,41	0,41	-0,97	н/д
Закисленный грунт	13,503	5,41	2,91	-2,91	0,35	-0,82	н/д
Мешкотара	10,208	4,09	19,12	-19,12	-9,45	0,21	12,85
Металлоконструкции	8,996	3,6	27,24	-27,24	-16,48	0,18	-14,31
Изношенные шины	5,71	2,29	24,55	-24,55	-2,15	0,12	2,85
Осадок хозяйственных сточных вод	4,407	1,77	н/д	н/д	н/д	0,79	-0,66
Стружка, обломки полиэтиленовых труб	2,922	1,17	5,47	-5,47	-2,7	0,06	3,68
Смешанные отходы	5,288	2,12	н/д	н/д	-15,09	0,18	-2,25
ИТОГО:			82,69	-82,69	-45,11	56,52	3,84
С учетом эмиссии ПГ при производстве				0,0	37,58	138,94	86,53

Таблица 3.

Определение приоритетности мероприятий по обращению с отходами предприятия

Наименование отходов	Эмиссия парниковых газов, т CO ₂ экв.			Критерии		
	Переработка	Захоронение	Сжигание	MM	S	HW
ТБО	н/д	56,5	1,67	1,7	11,2	29,1
Строительный мусор	0,41	-0,97	н/д	-1,0	57,5	-0,3
Закисленный грунт	0,35	-0,82	н/д	-0,8	57,3	-0,2
Мешкотара	-9,45	0,21	12,85	-9,5	56,3	1,7
Металлоконструкции	-16,48	0,18	-14,31	-16,5	56,3	-8,2
Изношенные шины	-2,15	0,12	2,85	-2,2	56,4	0,4
Осадок хозяйственных сточных вод	н/д	0,79	-0,66	-0,7	55,7	0,1
Стружка, обломки полиэтиленовых труб	-2,7	0,06	3,68	-2,7	56,4	0,5
Смешанные отходы	-15,09	0,18	-2,25	-15,1	56,3	-7,5
Критерии	MM	-16,5	-1,0	-14,3		
	S	16,9	57,5	27,2		
	HW	-8,0	27,8	-0,7		

должен быть направлен на ТБО в сфере их первичной переработки и возможностей захоронения.

Выводы и заключение

Таким образом, проведенные экологические исследования позволили подготовить предложения для совершенствования деятельности в области охраны окружающей среды, укрепления позиций устойчивого развития и надлежащего ведения и завершения работ на геотехнологическом полигоне. Разработанные мероприятия направлены, прежде всего, на снижение уровня негативного влияния образующихся производствен-

ных отходов предприятия, на состояние окружающей природной среды.

В качестве первоочередных методов минимизации отходов производства и потребления возможно рассмотреть альтернативные варианты реализации производственных процессов, техники и технологий с меньшим уровнем объема и токсичности выбросов. В этой связи использование АСУ ПЭМ «Мониторинг эмиссии загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления» позволит осуществить четкую классификацию отходов на различные категории, поддающиеся рекуперации и окончательно утилизиру-

емые, а также определить фактические объемы вновь образованных отходов и наличие переходящих остатков. При этом, наличие функции мониторинга широкого спектра загрязняющих веществ, определения концентраций, уровня токсичности и расчет предельных показателей загрязнения позволяют решать широкий спектр управленческих задач в сфере охраны окружающей среды и природопользования.

Обоснование и выбор эффективных мероприятий дальнейшей переработки отходов было осуществлено на основе решения задачи оптимизации углеродного следа их жизненного цикла (производство-использование-утилизация) с учетом необходимого уровня капитальных и операционных производственных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abruzzi R.C., Bonetti B., Marçal J.R.P., Berenice A.D., Bitencourt A.K. Artifacts in the analysis and assessment of low-cost containers for sampling and storing greenhouse gases // *Quimica Nova*. 2019, vol. 42, no. 1, pp. 84–94. DOI: 10.21577/0100-4042.20170299.
2. Boente C., Millan-Martinez M., Sánchez de la Campa A.M., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J.D. Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during openpit mining operations in a massive sulphide ore exploitation // *Atmospheric Pollution Research*. 2022, vol. 13, no. 4, article 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.
3. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov D.A. Integrated monitoring of slope processes in India and Russia // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 572–581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.
4. Parajuli R.P., Shin H.H., Maquiling A., Smith-Doiron M. Multi-pollutant urban study on acute respiratory hospitalization and mortality attributable to ambient air pollution in Canada for 2001—2012 // *Atmospheric Pollution Research*. 2021, vol. 12, no. 12. DOI: 10.1016/j.apr.2021.101234.
5. Salo H., Makinen J. Comparison of traditional moss bags and synthetic fabric bags in magnetic monitoring of urban air pollution // *Ecological Indicators*. 2019, vol. 104, pp. 559—566. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.05.033.
6. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S. Estimation and reduction of methane emissions at the scheduled and repair outages of gas-compressor units // *Journal of Ecological Engineering*. 2019, vol. 20, no. 1, pp. 46–51. DOI: 10.12911/22998993/93943.
7. Илиаш Н., Дунка Э., Оффенберг Ю., Тешеляну Д., Предойу И. Элементы геоэкологического аудита и учета объектов окружающей среды // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 3-1. — С. 359–371. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_359.
8. Колобанов К.А., Филатова М.Ю., Бубнова М.Б., Ромашкина Е.А. Совершенствование методов оценки загрязнения экосферы от горнопромышленных отходов с использованием математического аппарата // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 4. — С. 85–99. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_85.
9. Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Собенин А.В. К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Колыванского месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 3-1. — С. 465–474. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-465-474.
10. Крупская Л.Т., Зверева В.П., Склярова Г.Ф., Орлов А.М. Техногенные поверхностные образования как источник загрязнения экосферы и обоснование возможности их освоения в Дальневосточном федеральном округе // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2. — С. 5–21. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.
11. Куликова А.А., Стельмахов А. А., Бачева Т.А., Цымбал М.Н. Очистка вод, поступающих из затопленных шахт и рудников // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6. — С. 38–47. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-38-47.
12. Куликова Е.Ю., Сергеева Ю.А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6-1. — С. 107–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107118.
13. Петров Ю. С., Соколов А. А., Раус Е. В. Математическая модель оценки техногенного ущерба от функционирования горных предприятий // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2019. — Т. 11. — № 4 (42). — С. 554–559. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-554-559.
14. Семячков А. И., Почечун В. А. Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 215–223. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2215-223.
15. Соколов А. А. Основы информационного обеспечения мониторинга техногенных циклов горно-металлургических предприятий. — Нальчик: КБНЦ РАН, 2020. — 170 с.

© Мохмдхуссин Алаа Назин Мохмдхуссин (ciop@misis.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ MAP REDUCE ДЛЯ R/S АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

MAP REDUCE FOR R/S ANALYSIS OF HIGH-DIMENSIONAL TIME SERIES

**A. Sabutkevich
D. Vikhlyaev
I. Nikiforov**

Summary. The work is devoted to research approaches to improve the efficiency of computing indicators of high-dimensional time series, presented using ungrouped streaming data, using the example of using R/S analysis. The proposed method is based on the use of the distributed computing model Map Reduce for the implementation of the R/S analysis algorithm. The proposed solution is implemented in the software tool, which makes it possible to increase the efficiency of calculations using the correct cluster configuration by an average of 34 % compared to the traditional computing method for experimental dataset.

Keywords: distributed computing, Big Data, Map Reduce, R/S analysis, Hurst exponent, time series.

Сабуткевич Артем Михайлович

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
artem.sabut@gmail.com

Вихляев Дмитрий Александрович

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
dim49v@yandex.ru

Никифоров Игорь Валерьевич

кандидат техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
nikiforov_iv@spbstu.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию подходов повышения эффективности вычислений показателей временных рядов большой размерности, представленных при помощи не сгруппированных потоковых данных, на примере применения R/S анализа. Предложен метод, основывающийся на использовании модели распределенных вычислений Map Reduce для реализации алгоритма R/S анализа. Предложенное решение реализовано в программном средстве, применение которого позволило повысить эффективность проводимых вычислений при использовании корректной конфигурации кластера в среднем на 34 % по сравнению с методом традиционных вычислений для экспериментальных данных.

Ключевые слова: распределенные вычисление, большие данные, Map Reduce, R/S анализ, экспонента Херста, временные ряды.

Введение

Анализ экспериментальных или исторических данных с целью выявления закономерностей является актуальной задачей во многих научных и прикладных областях.

Нередко исходные данные могут быть представлены при помощи временных рядов, что позволяет использовать для их анализа совокупность математико-статистических методов. Области, в которых активно применяется анализ временных рядов, являются экономика [1], социология, промышленность, машиностроение, информационные технологии и другие.

Соответствующие временные ряды могут обладать большой размерностью, что затрудняет или делает практически невозможным проведение их теоретического анализа. Для уменьшения трудоемкости данного процесса используется программно-вычислительные комплексы [2]. Однако классические подходы организации вычислений могут оказываться недостаточно эффективными в связи с большим объемом данных. В связи с этим особую актуальность имеет повышение эффективности

данного процесса [3] за счет применения распределенного характера вычислений.

В рамках данной работы рассматривается подход к применению распределенных вычисления для временных рядов большой размерности при помощи модели Map Reduce в области экономики. В качестве вычисляемого значения используется экспонента Херста [4], а временной ряд описывает изменение стоимости акций на фондовом рынке. Данные временного ряда имеют потоковый характер [5] с отсутствием группировки относительно наименований акций.

Обзор литературы

Согласно центральной предельной теореме — при увеличении числа испытаний предельное распределение случайной системы будет близким к нормальному распределению [6]. При этом все события должны быть независимыми и идентично распределены. В процессе исследования множества сложных систем обычно предполагают гипотезу о нормальности системы, чтобы к ней можно было применить классический статический анализ.

На практике многие системы, в том числе финансовые рынки и соответствующие им временные ряды, не являются нормально-распределенными. Именно для анализа таких систем применяется R/S анализ [7]. Данный подход позволяет различить случайный и фрактальный временные ряды [8], а также делать выводы о наличии непериодических циклов, долговременной памяти и других характеристик [9].

Алгоритм R/S анализа задается следующей последовательностью действий [10] [11]:

1. Для исходного ряда S_t определяется логарифмическое отношение:

$$N_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}.$$

2. Ряд N разделяется на A смежных периодов длиной n . Каждый период определяется как I_a , где $a = 1, 2, \dots, A$. Далее определяется среднее значение для каждого I_a :

$$E(I_a) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a}.$$

3. Вычисляются отклонения от среднего значения для каждого периода I_a :

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - E(I_a)).$$

4. Вычисляется размах в пределах каждого периода:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}).$$

5. Вычисляется стандартное отклонение для каждого периода I_a :

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E(I_a))^2}.$$

6. Каждый R_{I_a} делится на соответствующее значение S_{I_a} . На основе этих данных рассчитывается среднее значение R/S:

$$R / S(n) = \frac{\sum_{a=1}^A R / S(A)}{A}.$$

7. Шаги 2–6 повторяются пока $n < \frac{N}{2}$. На каждом шаге увеличивается значение n .

8. Далее строится график зависимости $\log(R/S(n))$ от $\log(n)$. При помощи метода наименьших квадратов находится регрессия вида $\log(R/S(n)) = H * \log(n) + c$, где H является экспонентой Херста.

На основе полученного значения экспоненты Херста можно сделать вывод о характеристике временного ряда:

- $H < 0,5$ — анти-персистентный ряд: за высоким значением следует низкое значение и наоборот;
- $H = 0,5$ — явная тенденция не выражена;
- $H > 0,5$ — персистентный ряд: за высоким значением следует более высокое значение и наоборот.

Существующие решения

Существующие подходы и реализации можно классифицировать следующим образом:

- обособленные программные решения;
- библиотеки и модули для использования в составе различных программных средств.

Основными критериями, выделяемыми при проведении сравнительного анализа существующих подходов и реализаций (см. табл. 1), являются:

- поддержка модели распределенных вычислений для большого объема данных;
- возможность расширения функционала путем интеграции дополнительных модулей обработки данных;
- реализация на языке высокого уровня или наличие API;
- поддержка обработки котировок для различных акций, представленных в виде потоковых данных с отсутствием группировки.

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что среди рассмотренных решений не существует подхода, удовлетворяющего всем критериям, поэтому

Таблица 1.

Сравнительный анализ существующих решений

Название	Поддержка распределенных вычислений	Возможность расширения функционала	Реализация на языке высокого уровня	Поддержка обработки потоковых котировок
Программный комплекс «Симметрия» [12]	–	–	+-	–
Приложение «STATA» [13]	–	+	+	–
Подход, рассмотренный в работе [14]	–	+	+-	–
Реализация R/S анализа с использованием Matlab [15]	–	+	+	–
Методика, описанная в работе [16]	+	+-	+	–

актуальной является задача разработки собственного программного решения.

Предлагаемый подход

Модель данных

Модель данных включает в себя информацию о ключевых характеристиках биржевой котировки, необходимых для применения R/S анализа, а именно: наименовании акции (строковый тип данных), временной характеристики периода (строковый тип данных, удовлетворяющий паттерну задания даты и времени) и соответствующей стоимости одной акции на конец периода (вещественный тип данных).

Компонент обработки данных

На вход в компонент обработки данных подаются биржевые котировки для различных акций, а выходными значениями являются экспоненты Херста, вычисленные для каждой из исходных акций.

Основным элементом компонента обработки данных является инструмент анализа данных, в качестве которого используется платформа Apache Hadoop [17]. В ее основе лежит распределенный подход к вычислению и хранению информации [18]. Выбор обуславливается поддержкой обработки больших объемов данных, а также легкостью данного инструмента. Другими важными преимуществами являются эффективность, обеспечиваемая использованием модели распределенных данных, а также высокая надежность за счет возможности хранения нескольких копий данных.

Также был рассмотрен Apache Spark [17], но его использование связано с дополнительными ограничениями для ОЗУ и слишком высокой сложностью конфигурирования. На основе проведенной теоретической оценки использование Spark может оказать более сильное влияние на повышение эффективности вычислений, однако описанные недостатки являются более значимыми.

На программном уровне Hadoop представляет собой программный фреймворк, позволяющий хранить данные при помощи распределенной файловой системы Hadoop Distributed File System [19] и обрабатывать их с использованием вычислительных кластеров на основе модели Map Reduce [20]. В соответствии с подходом Map Reduce обработка данных состоит из шагов: Map, Shuffle и Reduce [21]. В качестве ключа, применяемого для создания пары на шаге Map, используется наименование акции, а соответствующим значением является ее стоимость. Вычисление экспоненты Херста осуществляется на этапе Reduce. Демонстрационный пример предлагаемой модели вычислений в одной из возможных конфигураций представлен на рис. 1.

Модель может иметь различные конфигурации в зависимости от количества узлов кластера.

Реализация программного инструмента

Программное решение представляет собой дистрибутив, разработанный для ОС Linux, с поддержкой автоматизации развертывания, запуска Hadoop с предварительной перезагрузкой используемых узлов и запуска выполнения конкретной Map Reduce задачи.

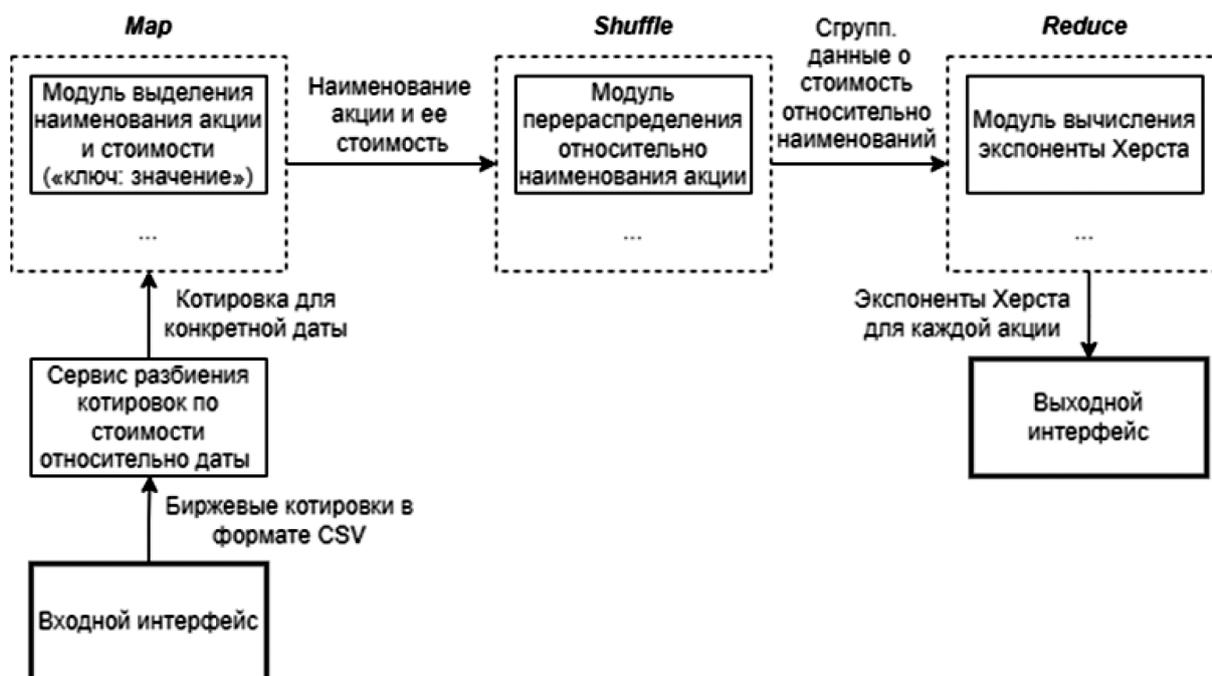


Рис. 1. Демонстрационный пример модели вычислений

В качестве основного языка программирования использован Python версии 3.8.10. Выбор объясняется наличием множества дополнительных модулей и библиотек, упрощающих процесс реализации, а также его поддержкой всеми средствами и технологиями, используемыми при разработке.

Реализация компонента обработки данных

Для реализации системы была использована версия Apache Hadoop 1.0.3 по причине относительной простоты автоматизации развертывания на узлах кластера. В ходе проведенных тестирований, перегрузки, свойственные данной версии, выявлены не были.

Для обеспечения функциональной масштабируемости компонент обработки данных поддерживает возможность вычисления различных показателей и метрик для исходных данных посредством разработки дополнительных модулей. Основным ограничением для них является необходимость реализации статического класса, содержащего публичный метод для вычисления целевой метрики. Параметром указанного метода является список, хранящий значения временного ряда.

Реализация алгоритма R/S анализа

Реализация алгоритма R/S анализа представлена посредством отдельного модуля с использованием библиотеки NumPy версии 1.12.4, реализующей все необходимые вычислительные методы и структуры хранения данных:

- array — массив, используемый для хранения временных рядов.
- subtract — метод вычисления разность между элементами массивов.
- std — метод вычисления среднеквадратического отклонения.
- polyfit — метод наименьших квадратов.
- log — метод вычисления логарифма для элементов массива.

Реализация модели Map Reduce

Шаги Map и Reduce реализованы посредством одноименных модулей без использования дополнительных внешних библиотек. Реализация Reduce задействует модуль алгоритма R/S анализа, описанный ранее. Операция Shuffle, в свою очередь, производится автоматически и не требует реализации.

Создание кластера для распределенной работы

Главный сервер (master) и все зависимые сервера (slave) расположены на отдельных вычислительных машинах. Объединение их в кластер реализуется при по-

мощи SSH ключей, которые формируются при настройке конфигурации системы. Для главного сервера в конфигурации должны быть указаны все зависимые сервера. Средствами главного сервера осуществляется запуск конкретной Map Reduce задачи.

Эксперимент

Кластер, при помощи которого проводился эксперимент, был реализован на основе нескольких серверов при помощи сервиса Digital Ocean. Узлами кластера являлись сформированные виртуальные машины на базе Linux (droplet) с характеристиками 1 ядро 3.3 ГГц, ОЗУ 1 Гб. Дополнительно был задействован персональный компьютер, имеющие следующие характеристики: 4 ядра 3.6 ГГц, ОЗУ 16 Гб.

Для проведения исследования были подготовлены искусственные наборы данных заданной размерности: 450 Мб, 930 Мб, 1830 Мб и 2850 Мб. Данный подход допустим, так как время вычислений не зависит от конкретных значений стоимости акции. В зависимости от размерности данных использовались различные размеры блоков, определяющие длину периодов, на которые разделяется временной ряд.

Использование одного узла кластера

В табл. 2 приведены значения времени, затраченного на осуществления вычислений, относительно зависимости размера набора данных и характера вычислений как с использованием Map Reduce модели, так и при помощи традиционных вычислений. На основе приведенных данных построен график (см. рис. 2).

На основе полученных данных можно сделать вывод, что наиболее эффективным по времени оказалось использование традиционных вычислений без применения Map Reduce модели.

Таблица 2.

Сравнение времени обработки данных на одном узле

Размер набора данных	450 Мб	930 Мб	1830 Мб	2850 Мб	
Reducer	Node				
1	1	160 сек.	316 сек.	616 сек.	936 сек.
Персональный компьютер		139 сек.	260 сек.	456 сек.	727 сек.
Количество блоков		3	6	10	15

В среднем применение вычислений с использованием персонального компьютера оказывается на 25 % эффективнее по времени, чем при помощи модели Map Reduce при конфигурации на одном узле.

Это обуславливается тем, что Hadoop и, в частности, Map Reduce модель, оказываются более эффективными при использовании горизонтального масштабирования.

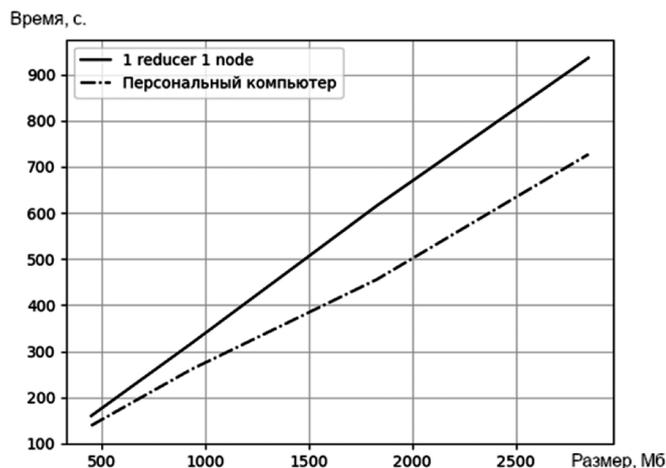


Рис. 2. График времени обработки данных на одном узле

Использование нескольких узлов кластера

Для исследования времени работы на нескольких узлах были дополнительно сформированы конфигурации с 2 узлами, отличающиеся количеством reducer. Сводные данные представлены в табл. 3, а соответствующий график на рис. 3.

Таблица 3.

Сравнение времени обработки данных на нескольких узлах

Размер набора данных		450 Мб	930 Мб	1830 Мб	2850 Мб
Reducer	Node				
2	2	118 сек.	185 сек.	357 сек.	487 сек.
1	2	175 сек.	245 сек.	557 сек.	853 сек.
1	1	160 сек.	316 сек.	616 сек.	936 сек.
Персональный компьютер		139 сек.	260 сек.	456 сек.	727 сек.
Количество блоков		3	6	10	15

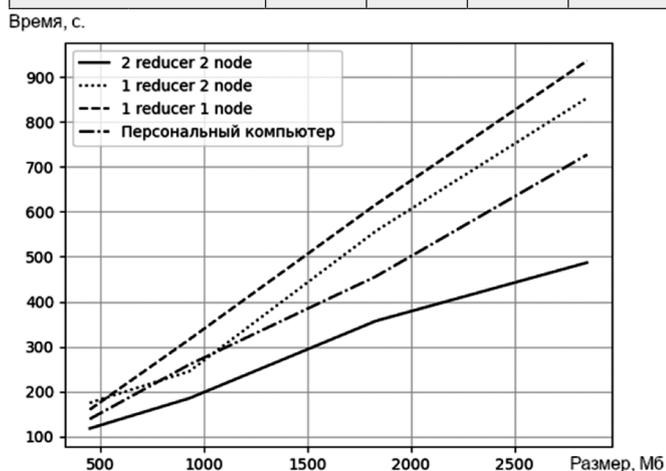


Рис. 3. График времени обработки данных на нескольких узлах

Из приведенных данных можно сделать вывод, что для заданных данных при увеличении количества узлов

кластера и количества reducer скорость вычислений при использовании Hadoop и модели Map Reduce возрастает.

При использовании конфигурации с 2 узлами и 1 reducer скорость обработки данных оказывается выше, чем при использовании только 1 узла и соответственно 1 reducer. А, в свою очередь, конфигурация с 2 узлами и 2 reducer по времени показывает наилучший результат среди всех рассмотренных конфигураций, в среднем превышающий на 34 % время обработки с использованием персонального компьютера.

Заключение

В работе предложен подход вычисления экспоненты Херста для целевых котировок фондового рынка, формально представленных в виде временного ряда большой размерности, посредством R/S анализа.

В ходе применения предложенного подхода при корректном конфигурировании кластера удалось достичь повышения эффективности в среднем на 34% в сравнении с использованием модели локальных вычислений для исходных экспериментальных данных различной размерности.

Оценка эффективности была произведена при помощи программной реализации предложенного подхода с использованием Apache Hadoop 1.0.3.

Ключевыми отличительными особенностями предложенного подхода являются:

- использование модели распределенных вычислений Map Reduce, обеспечивающий повышение эффективности вычислений и возможности обработки временных рядов большой размерности;
- поддержка функциональной масштабируемости, а также интеграции в другие системы;
- наличие возможности обработки данных потокового характера, не сгруппированных относительно конкретной целевой акции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайличенко, А.А. Анализ временных рядов и методы прогнозирования в современной экономике / А.А. Михайличенко, Ю.В. Кольцов // *Машиностроение: Сборник научных статей / ГОУ ВПО КубГТУ, ООО «Издательский Дом — Юг». Том Выпуск 3.* — Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом — Юг», 2009. — С. 67–70. — EDN TCKRBF.
2. Тартаковский, В.А. Разработка программных средств для обработки больших временных рядов / В.А. Тартаковский, И.А. Ботыгин, А.И. Шерстнева // *Девятая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям: Сборник статей, Томск, 10–12 октября 2017 года / под редакцией А.В. Старченко.* — Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2017. — С. 105–109. — DOI 10.17223/9785946216531/15. — EDN DKTDKI.
3. Кирилюк, И.Л. Оптимизация сложности моделей анализа временных рядов в экономике / И.Л. Кирилюк, А.В. Кузнецова, О.В. Сенько // *Математические методы распознавания образов ММРО-2017: тезисы докладов 18-й Всероссийской конференции с международным участием, Таганрог, 09 октября 2017 года — 13 2019 года.* — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ТОРУС ПРЕСС», 2017. — С. 64–65. — EDN VNAPRX.
4. Кутузов, А.В. Оценки интервалов квазистационарности временных рядов экономических показателей на основе их мультифрактальных моделей / А.В. Кутузов, А.А. Иванков // *Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста: Материалы 2-й Международной конференции, Санкт-Петербург, 20–22 октября 2016 года.* — Санкт-Петербург: Центр научно-информационных технологий «Астерион», 2016. — С. 186–189. — EDN XVNCLZ.
5. Конфигурируемая система сбора и обработки потоковых данных на основе SAP HANA / В.В. Монастырев, А.В. Назаров, А.М. Акимов [и др.] // *Информатика и кибернетика (ComCon-2017): Сборник докладов студенческой научной конференции Института компьютерных наук и технологий, Санкт-Петербург, 03–08 апреля 2017 года.* — Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2017. — С. 354–358. — EDN XOZWDB.
6. Ивченко, Г.И. Математическая статистика: Учебник. / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. — М.: Высшая школа, 1984. — 248 с.
7. Херст, Г.Э. Долгосрочная вместимость водохранилищ. Труды Американского общества гражданских инженеров, 1951. — Т. 116. — С. 770.
8. Червова, А.А. Фрактальный анализ нестационарных временных рядов различной природы / А.А. Червова // *Естественные и технические науки.* — 2015. — № 11(89). — С. 408–412. — EDN VHTLON.
9. Гузикова, Л.А. Опыт фрактального анализа цен акций российских компаний / Л.А. Гузикова, Н.М. Молодежев // *Современные аспекты экономики.* — 2020. — № 5-2(273). — С. 100–112. — EDN CIGWDL.
10. Гачков, А.А. Рандомизированный алгоритм R/S-анализа финансовых рядов / А.А. Гачков // *Стахостическая оптимизация в информатике / Под ред. О.Н. Граничина.* — 2009. — № 5. — С. 40–64.
11. Зиненко, А.В. R/S анализ на фондовом рынке / А.В. Зиненко // *Бизнес-информатика.* — 2012. — № 3 (21). — С. 24–30.
12. Пимонов, И.А. Комплекс программ для оценки и анализа фрактальных свойств фондового рынка / И.А. Пимонов, А.И. Трегуб // *Информационные технологии.* — 2008. — №4. — С. 105–110.
13. Баум, К.Ф. Эконометрика. Применение пакета Stata: Учебник и практикум / К.Ф. Баум, Г.И. Пеникас, С.А. Айвазян. — М: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ЮРАЙТ», 2016. — 352 с. — ISBN 978-5-9916-6993-1. — EDN VTWXYR.
14. Масловская, А.Г. Применение фрактальных методов для анализа динамических данных / А.Г. Масловская, Т.Р. Осокина, Т.К. Барабаш // *Вестник Амурского государственного университета.* — 2010. — №51: Серия: Естественные и экономические науки. — С. 13–20.
15. Теплов, С.Е. Применение R/S-анализа на фондовых рынках / С.Е. Теплов // *Финансы и бизнес.* — 2008. — № 1. — С. 129–137.
16. Kussainov, A.S. Hurst exponent estimation, verification, portability and parallelization / A.S. Kussainov, S.G. Kussainov // *Recent Contributions to Physics.* — 2015. — № 1(52). — P. 98–103. — EDN XKOKWH.
17. Система обработки больших данных для анализа событий репозитория GitHub / Н.В. Воинов, К Родригес Гарсон, И.В. Никифоров, П.Д. Дробинцев // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям.* — 2019. — Т. 1. — С. 283–286. — EDN TSGWMD.
18. Картанова, А.Д. Инструмент Hadoop и оптимизация хранилища данных / А.Д. Картанова, А.Б. Абдрасакова, Т.И. Иманбеков // *Современные проблемы механики.* — 2020. — № 42(4). — С. 67–82. — EDN CHFRKG.
19. Choi, W. Gi. A write-friendly approach to manage namespace of Hadoop distributed file system by utilizing nonvolatile memory / W. Gi. Choi, S. Park // *The Journal of Supercomputing.* — 2019. — Vol. 75, № 10. — P. 6632–6662. — DOI 10.1007/s11227-019-02876-9. — EDN BTBRLF.
20. Никифоров, И.В. Курсовое проектирование по учебной дисциплине «Наука о данных и аналитика больших объемов информации»: Учебное пособие / И.В. Никифоров. — Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2017. — 62 с. — ISBN 978-5-7422-5638-0. — EDN XPRQXB.
21. Гладкий, М.В. Модель распределенных вычислений MapReduce / М.В. Гладкий // *Труды БГТУ. №6. Физико-математические науки и информатика.* — 2016. — № 6(188). — С. 194–198. — EDN XAGKHD.

© Сабуткевич Артем Михайлович (artem.sabut@gmail.com); Вихляев Дмитрий Александрович (dim49v@yandex.ru);
 Никифоров Игорь Валерьевич (nikiforov_iv@spbstu.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАКЕТА PY-PDE ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

EXPERIENCE OF USING PY-PDE PACKAGE FOR SOLVING DIFFERENTIAL EQUATIONS

A. Suvorov

Summary. In this article capabilities of py-pde Python package are considered. The package is used for numerical solution of a big class of differential equations in which the unknown function can depend on time and space variables. Examples of using this package for solving linear differential equations with one unknown function are given.

Keywords: Differential equation, numerical solution, time dependency, python.

Суворов Александр Павлович

Кандидат технических наук, доцент, Московский государственный строительный университет
suvorovap@mgsu.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются возможности пакета языка Python py-pde. Этот пакет предназначен для численного решения большого класса дифференциальных уравнений, в которых неизвестная функция может зависеть от времени и от пространственных переменных. Приводятся примеры использования пакета для решения линейных дифференциальных уравнений с одной неизвестной функцией.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, численное решение, временная зависимость, python.

Введение

В данной статье мы рассматриваем возможности пакета языка Python py-pde [1]. Этот пакет предназначен для численного решения большого класса дифференциальных уравнений, в которых неизвестная функция может зависеть от одной пространственной переменной и времени или от двух пространственных переменных и времени. В случае двух пространственных переменных задача может быть решена только на прямоугольной области. Если обозначить неизвестную функцию как u , то дифференциальное уравнение должно иметь такой общий вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{правая часть}$$

где правая часть может включать в себя любые производные функции u по пространственным координатам, но не производную по времени.

Хотя py-pde и содержит документацию [1] с большим количеством примеров дифференциальных уравнений (на английском языке), в этой статье приводятся дополнительные примеры, которые позволят отечественному пользователю лучше понять достоинства и недостатки этого пакета. К тому же надо отметить, что каждый пример (уравнение), приведенный в документации, рассматривает лишь отдельную, малую часть возможностей программы. Здесь же мы попытаемся для меньшего количества примеров упомянуть сразу большое количество опций.

Пример 1. Рассмотрим уравнение

$$\Delta u + f = 0,$$

где неизвестная функция $u = u(x, y, t)$ определена на квадратной области $x \in [0, 1], y \in [0, 1], f = 8(s + g)$ — заданная функция интенсивности источников, s, g — заданные числа. Функция u удовлетворяет на границе области следующим граничным условиям

$$u(x = 0) = u(x = 1) = 4gy(1 - y)$$

$$u(y = 0) = u(y = 1) = 4sx(1 - x)$$

Точное решение данного уравнения можно быть легко получено: $u = 4gy(1 - y) + 4sx(1 - x)$. Поэтому данное уравнение следует решать с помощью py-pde только для тестирования программы.

В соответствии с общей концепцией данной программы py-pde решает уравнение для функции, зависящей от времени, т.е. ищется решение для такого уравнения

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u + f.$$

Поэтому решение исходного уравнения, в котором временная зависимость не присутствует, может быть получено методом установления [2], предположив, что t достаточно большое число. При использовании пакета py-pde требуется определить лишь часть уравнения, стоящую справа от $\frac{\partial u}{\partial t}$ после знака равенства.

Запишем короткую программу для решения данного уравнения

```
from pde import PDE, CartesianGrid, ScalarField
import pde
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
s=5
g=12
grid = CartesianGrid([[0, 1], [0, 1]], [64,64]) # генерация сетки
bc_x = [{"value_expression": "f"4*{g}*y*(1-y)" }, {"value_expression": "f"4*{g}*y*(1-y)"}]
bc_y = [{"value_expression": "f"4*{s}*x*(1-x)" }, {"value_expression": "f"4*{s}*x*(1-x)"}]
eq = PDE ({"u": "f" laplace(u) + 8*({s} + {g})"}, bc = [bc_x, bc_y ])
state = ScalarField(grid, 0.0) ## задание нулевых начальных условий
res = eq.solve(state, t_range=500000e-6, method="scipy")
## решение до времени t_range
res.plot(cmap="magma")
```

Решение данного уравнения начинается с генерации сетки, размер которой 64 на 64 точки. Далее задаются граничные условия для левого и правого краев области (переменная `bc_x`), потом задаются граничные условия для нижнего и верхнего краев (переменная `bc_y`). Это заданные значения неизвестной функции. Выражения для определения граничных условий записываются как строки, которые могут быть интерпретированы пакетом `sympy`. Далее используется класс `PDE`, который требует определения правой части уравнения $\Delta u + f$. Это уравнение тоже записывается как строка `sympy`. Также полностью записываются все граничные условия. Обратим внимание на оператор `laplace`. Помимо оператора `laplace` в `py-pde` существуют операторы `d2_dx2`, `d2_dy2`, `d_dx`, `d_dy`. Поэтому вместо `laplace(u)` можно было бы использовать `d2_dx2(u)+d2_dy2(u)`. Не рекомендуется использовать `d_dx(d_dx(u))` вместо `d2_dx2(u)`. Это приведет к неправильному результату.

С помощью класса `ScalarField` задается скалярное поле на сетке `grid`. По существу это массив значений, определенный для данной сетки. К этому массиву применимы многие операции библиотеки `numpy`. Значение данного поля в данном примере равно нулю — это начальное условие, которое по существу и не нужно задавать для решения исходного уравнения, но нужно задавать в данном пакете, так как неизвестная функция u всегда рассматривается как функция, зависящая от времени.

Далее используется функция `solve` для решения. При этом задаются начальное условие в виде скалярного поля, диапазон времени, для которого будет искомое решение (переменная `t_range`). Решение `res` будет выведено только для конечного момента времени `t_range`. Решение `res` тоже представляет собой скалярное поле, определенное на сетке `grid`. График с данным решением представлен на рис. 1. Можно убедиться, что данное решение является установившимся и не зависит от значения `t_range`, если последнее выбрано достаточно большим числом.

Заметим, что ввиду симметрии задачи решение можно было бы получить на четверти области $x \in [0, 0.5], y \in [0, 0.5]$, но тогда для краев $x = 0, y = 0$, нужно было бы определить нулевые значения для производных функции u (условия симметрии).

В этом случае в программе нужно сделать следующие изменения:

```
grid = CartesianGrid([[0, 0.5], [0, 0.5]], [64,64]) # генерация сетки
bc_x = [{"value_expression": "f"4*{g}*y*(1-y)" }, {"derivative": "f"0"}]
bc_y = [{"value_expression": "f"4*{s}*x*(1-x)" }, {"derivative": "f"0"}]
```

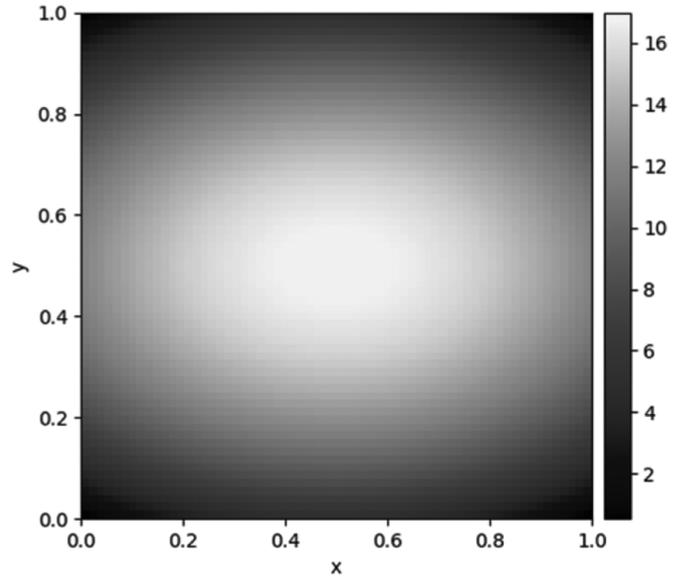


Рис. 1. Решение уравнения $\Delta u + f = 0$ на квадратной сетке 64 на 64

Заметим, что при задании граничных условий сначала задаются условия для левого края области, затем для правого. Аналогично, для другого направления: сначала записываются условия для нижнего края области, затем для верхнего.

Для получившегося решения в виде поля `res` доступны многие операции, в том числе нахождение производных. Это возможно при помощи операции `gradient`

```
resd_dx = res.gradient(bc = [bc_x, bc_y ])[0]
resd_dx.plot(cmap="magma")
```

При этом указываются вновь граничные условия. Градиент содержит два поля: производная по переменной x и y , поэтому указав индекс 0, мы сообщили программе, что нас интересует производная по x .

Теперь рассмотрим случай, когда функция источников задана не на всей области, а только для ее части $x \in [0.25, 0.75], y \in [0.25, 0.75]$. К сожалению, команда

```
eq = PDE («u»: f» laplace(u) + 8*({s} + {g})*Heaviside(x-0.25,0.5)*Heaviside(y-0.25,0.5)», bc = [bc_x, bc_y ]
```

вызывает проблемы, хотя функция Heaviside определена в библиотеке sympy. Здесь мы рассматриваем решение задачи только для четверти области. Поэтому можно заменить пороговую функцию более гладкой функцией, например, tanh

```
eq = PDE («u»: f» laplace(u) + 8*({s} + {g})*(tanh((x-0.25)/0.002)/2+0.5)*(tanh((y-0.25)/0.002)/2+0.5)», bc = [bc_x, bc_y ]
```

Далее рассмотрим решение данной задачи, но при помощи пользовательского класса. Задачу будем решать на четверти области ввиду симметрии, а функцию источников $8(s + g)$ будем считать определенной только для части области $x \in [0.25, 0.75], y \in [0.25, 0.75]$. Приводим код программы.

```
from pde import PDE, CartesianGrid, ScalarField, PDEBase
import pde
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
s=5
g=12
class MyPDE(PDEBase):
    def __init__(self, bc="auto_periodic_neumann"):
        super().__init__()
        bc_x = [{"value_expression": f"4*{g}*y*(1-y)" }, {"derivative": "0"}]
        bc_y = [{"value": f"4*{s}*x*(1-x)"}, {"derivative": "0"}]
        self.bc = [bc_x, bc_y]

    def evolution_rate(self, state, t=0):
        state_lap = state.laplace(bc=self.bc)
        return state_lap + 8*(s+g)*np.heaviside(xfield-0.25,0.5)*np.heaviside(yfield-0.25,0.5)
```

```
grid = CartesianGrid([[0, 0.5], [0, 0.5]], [32,32])
state = ScalarField(grid, 0.0) # задать начальные условия
xfield = ScalarField.from_expression(grid, "x")
yfield = ScalarField.from_expression(grid, "y")
```

```
eq = MyPDE() # задать уравнение
result = eq.solve(state, t_range=500000e-6, method='scipy')
result.plot()
```

В этом классе должна быть определена функция evolution_rate, в которой задается и возвращается правая часть уравнения. Обратим внимание на то, что здесь оператор laplace действует над полем решения state. Оператор laplace, как и все остальные операторы, вычисляющие производные, требует задание граничных условий bc. Далее в правой части уравнения могут присутствовать и другие скалярные поля, заданные на той же сетке. Здесь мы используем поля xfield и yfield, которые просто заменяют переменные x и y. Также используется

функция heaviside из библиотеки numpy, которую можно применить к полю. Обратим внимание на то, что здесь нельзя в качестве координат просто указать название переменной x или y, так как это команда языка Python, а не символьная строка, и переменные x, y не определены.

К сожалению, такая имплементация задачи, хотя и является более общей, приводит к значительному росту времени исполнения задачи по сравнению с предыдущим кодом. Но использование другого метода при решении приводит все-таки к убыстрению работы программы:

```
result = eq.solve(state, t_range=500000e-6, method="AdaptiveSolverBase")
```

Пример 2. Рассмотрим уравнение для функции одной пространственной переменной

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0.$$

Такое уравнение может возникать при решении задачи о радиально-симметричной деформации цилиндра, и в этом случае $u(r)$ — радиальное перемещение точек цилиндра. Если на внутренней и внешней стенках цилиндра, $r = r_i$ и $r = r_e$, действуют радиальные напряжения σ_r, σ_e соответственно, то граничные условия могут быть записаны следующим образом

$$\left(K - \frac{2}{3}G \right) \left(\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} \right) + 2G \frac{du}{dr} = \sigma_r = r_i$$

$$\left(K - \frac{2}{3}G \right) \left(\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} \right) + 2G \frac{du}{dr} = \sigma_e = r_e$$

Здесь K, G — модули упругости материала цилиндра, которые считаются заданными числами.

Как всегда, ru-pde будет решать уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2}.$$

В программе ru-pde граничные условия Робина, например, для внешнего края, должны быть записаны в таком виде

$$\frac{du}{dr} + \frac{K - \frac{2}{3}G}{K + \frac{4}{3}G} \frac{1}{r} u = \frac{\sigma_e}{K + \frac{4}{3}G}$$

т.е. должны быть найдены множитель перед функцией и свободный член, причем коэффициент перед производной принимается равным единице.

Рассмотрим решение задачи для цилиндра, для которого радиальная координата меняется в диапазо-

не $0.5 \leq r \leq 1.0$. Пусть внутренняя сторона цилиндра не загружена, т.е. $\sigma_i = 0$, а на внешней стороне цилиндра приложены напряжения $\sigma_e = -100$.

```
Приводим код программы
from pde import PDE, CartesianGrid, ScalarField
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
K = 43383.94
G = 20000
L = 1
grid = CartesianGrid([[0.5*L, L]], 64) # сетка
c1 = (K-2/3*G)/(K+4/3*G)
c2 = -100/(K+4/3*G)
eq = PDE({"u": "f" laplace(u) + d_dx(u)/x — u/x**2"}, bc = [{"type": "mixed", "value": c1/L, "const": 0}, {"type": "mixed", "value": c1/L, "const": c2}])
state = ScalarField(grid, 0.0) # начальные условия
res = eq.solve(state, t_range=500000e-6, method="scipy")
plt.plot(np.linspace(0.5,1,64), res.data)
plt.grid('on')
plt.xlabel('r')
plt.ylabel('u(r)')
plt.show()
```

Сетка является одномерной и содержит 64 точки. В определении уравнения мы используем оператор первой производной d_dx . В определении граничных условий записываем сначала условия на левом конце, потом на правом конце области. Используем тип граничных условий `mixed` (смешанный). График, показывающий перемещения цилиндра, приведен на рис. 2.

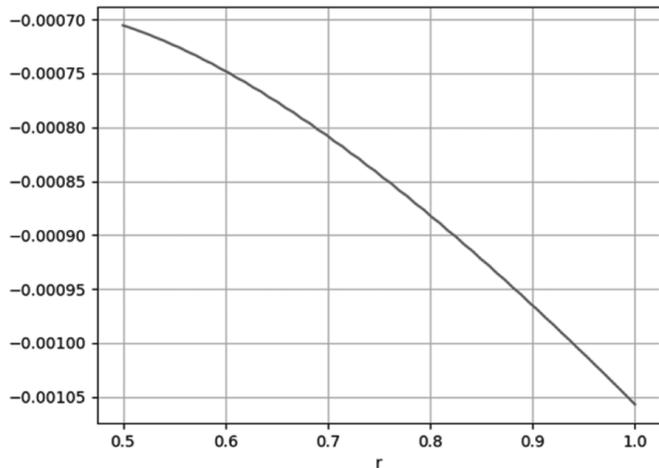


Рис. 2. Радиальные перемещения точек цилиндра при его загрузке внешним давлением, внутреннее давление равно нулю

Пример 3. Рассмотрим уравнение массопереноса, в котором зависимость неизвестной функции u от времени имеет конкретный смысл. Решим уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0.01 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial x}$$

в области $x \in [0,1]$. Граничные условия

$$u(0,t) = 1, \frac{\partial u}{\partial x}(1,t) = 0.$$

Начальное условие

$$u(x, t = 0) = 0.$$

Как мы видим, коэффициент диффузии в данной задаче мал (0.01). Поэтому перенос вещества происходит в основном за счет адвекции.

```
Приводим код программы
from pde import PDE, CartesianGrid, ScalarField
import pde
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
grid = CartesianGrid([[0,1]], 64) # сетка
eq = PDE({"u": "f" 0.01*laplace(u) — d_dx(u)"}, bc = [{"value_expression": 1}, {"value": 0}])
state = ScalarField(grid, 0.0)
storage = MemoryStorage()
res = eq.solve(state, t_range=750000e-6, method="scipy", tracker=storage.tracker(5000e-6))
plot_kymograph(storage)
```

Здесь создается экземпляр класса `MemoryStorage`, который запоминает все промежуточные состояния вплоть до конечного времени t_range . Затем на основе этой информации строится график, по вертикальной шкале которого откладывается время, а по горизонтальной шкале откладывается координата x (рис. 3).

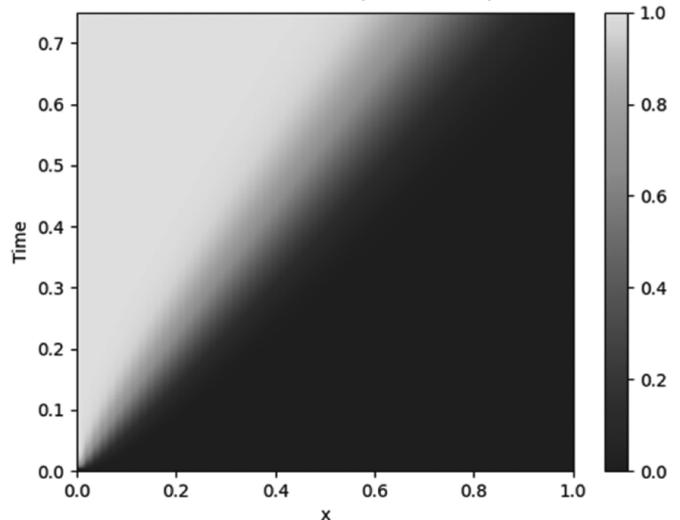


Рис. 3. Зависимость концентрации вещества u от координаты x и времени в случае переноса вещества слева направо

Заключение

В этой статье рассматривается использование пакета `py-pde` для решения линейных дифференциальных уравнений с одной неизвестной функцией. Пакет может быть использован как для задач, в которых неизвестная функция зависит от времени, так и для стационарных задач. В последнем случае задача решается методом установления, т.е. используется решение для большого значения времени, когда решение можно считать неизменяющимся во времени. Приведены примеры решения уравнения на отрезке и в прямоугольной области. В случае двух пространственных переменных задача может быть решена только для прямоугольной области.

К достоинствам пакета относятся возможность найти не только само решение, но и производные от него, возможность задавать разного рода граничные условия, в том числе зависящие от времени, рассматривать функции источников, которые тоже зависят произвольным образом от времени и пространственных переменных. К недостаткам данной программы относится тот факт, что граничные условия удовлетворяются лишь приближенно, но точность улучшается при сгущении сетки. Также надо отметить невысокую скорость работы программы, если сетка становится густой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Документация к пакету `py-pde` <https://py-pde.readthedocs.io/en/latest/>
2. Зализняк, В.Е. Численные методы. Основы научных вычислений: учебник и практикум для вузов / В. Е. Зализняк. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 356 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-02714-3. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/510699>

© Суворов Александр Павлович (suvorovap@mgisu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЯ ШРИФТОГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ АССОЦИАТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

STUDIES OF FONTOGRAPHIC IMAGES BASED ON AN ASSOCIATIVE EXPERIMENT

A. Philippovich

Summary. The article is devoted to the development of methods and tools for cognitive modeling of fontographic images and compositions, the relevance of the topic is determined by the lack of systems that take into account the psychological perception of the user of certain fonts in the interfaces. They are the purpose and objectives of the study. It is proposed to use an associative experiment. The task of generating questionnaires for the survey and the formation of a font associative dictionary is described. The main scientific result of the study will be a cognitive model and methodology for analyzing typographic images. Based on the results of experiments, a dictionary of fontographic images and an associative fontographic network are created (by analogy with associative dictionaries).

Keywords: cognitive model, font, typeface, associative experiment, associative dictionary, fontographic.

Филиппович Анна Юрьевна

*К.т.н., доцент, Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
annafil@bk.ru*

Аннотация. Статья посвящена разработке методики и средств когнитивного моделирования шрифтографических образов и композиций. Актуальность темы определяется отсутствием систем, учитывающих психологические восприятия пользователя тех или иных шрифтов в интерфейсах. Они цель и задачи исследования. Предложено использовать ассоциативный эксперимент. Описана задача генерации анкет для опроса и формирование шрифтового ассоциативного словаря. Основным научным результатом исследования будет являться когнитивная модель и методика анализа шрифтографических образов. По результатам экспериментов создается (по аналогии с ассоциативными словарями) словарь шрифтографических образов и ассоциативная шрифтографическая сеть.

Ключевые слова: шрифт, шрифтовая гарнитура, когнитивная модель шрифтов, ассоциативный эксперимент, ассоциативный словарь, шрифтографика.

Введение

Сегодня в современных интерфейсах и медиа используются тексты, представленные различными шрифтами. Совокупность таких шрифтографических элементов представляет собой сложную семиотическую (языковую) систему. Через шрифтографические системы передается значительная часть семантической и прагматической информации. Понимание сообщений и успех коммуникации определяется не только эргономическими характеристиками шрифтографических систем, но и психологией пользователя. Таким образом, есть необходимость у создателей шрифтографических систем учитывать когнитивные и психологические способности пользователя [1]. В настоящее время отсутствуют методики и технические средства поддержки разработки шрифтографических интерфейсов с учетом вышесказанного. Отсутствуют исследования когнитивных функций шрифтографических (семиотических, языковых) систем.

Ассоциативный эксперимент — это психолингвистический метод, используемый в исследованиях в разных регионах России [2]. Создаваемый в результате эксперимента ассоциативный словарь, например, [3, 4] является моделью языкового сознания человека, группы людей-носителей языка или целой нации. Примерами таких систем в сети служат [5, 6].

Ассоциативный эксперимент проводится в виде анкетирования, где респондентам предлагаются слова, которые называются стимулами, а человек отвечает первым пришедшим в голову словом — словом реакцией. Таким образом этот метод может быть использован для выявления реакций на слова-стимулы, набранные различными шрифтами

Цели и задачи

В связи с этим целью представляемого исследования является разработка методики и средств когнитивного моделирования шрифтографических образов и композиций. Достижения поставленной цели может быть получено последовательным решением следующих задач:

1. Анализ и формирование предметной области исследования: понятие когнитивной шрифтографики; анализ смежных научных областей, описание и ограничение области применения; выделение возможных областей практического использования.
2. Разработка технологии проведения ассоциативного эксперимента с шрифтографическими образами, включающей генерацию анкет и разработку словаря.
3. Проектирование и разработка веб-ресурса для реализации технологии.

4. Анализ результатов эксперимента и построение когнитивной модели шрифтографики.

В проектируемой системе проведение эксперимента планируется онлайн. Согласно [7] данные интернет-опросов могут использоваться как надёжный и репрезентативный материал для научных исследований ассоциативных реакций. После проведения опросов необходимо обработать все полученные наборы данных (стимул, реакция, шрифт) сохранить в базу для дальнейшей их обработки.

Одним из методов исследования является семиотический ассоциативный эксперимент, который состоит в предъявлении респондентам шрифтографических образов и фиксации вербальной реакции на них. Образы предъявляются в интерактивном режиме на экране дисплея. Вербальная реакция фиксируется в двух формах — свободный ответ и альтернативный выбор из списка. Фиксируется также время реакции и другие характеристики респондентов (возраст, пол, профессия).

Генерация анкет

При проведении анкетирования важным является получение на каждое из шрифтовых слов-стимулов одинакового количества слов-реакций. Кроме этого, нужно стремиться к исключению внешних организационных факторов, влияющих на ответы респондента.

Два основных фактора оказывают влияние на количество ответов (слов-реакций) опрашиваемых: во-первых, неравномерность представления слов-стимулов в анкетах — в некоторых анкетах какие-то слова-стимулы могут повторяться или отсутствовать; во-вторых, отсутствие слов-реакций на некоторые слова-стимулы — по условию эксперимента респонденты в своей анкете могут не указать слово-реакцию на какое-то слово-стимул.

Забота о качестве результатов эксперимента заставляет исследователя стремиться к тому, чтобы, во-первых, конкретные сочетания шрифтовых слов-стимулов встречались с наименьшей вероятностью, а во-вторых, они были бы наиболее разнообразными, так чтобы их влияние было неоднозначным. Такого результата можно добиться при использовании формальных (статистических) методик генерации анкет, основанных на методах случайной выборки слов-стимулов из их общего списка. Сформулируем задачу генерации анкет исследования в следующем виде:

Необходимо из общего списка шрифтовых слов-стимулов, расположенных в случайном порядке, сгенерировать множество подписков, для которого разброс частот появления каждого слова-стимула в этом множестве был меньше некоторой первоначально заданной величины.

Обозначим: N — общее количество стимулов; n — количество анкет; m — количество слов-стимулов, представленных в анкете; W — слово; T — шрифт (typeface); Tw — шрифтовое слово-стимул. Пусть A — массив анкет.

$$A = (A_1..A_n) \in \{\{1..N\}^m\}^n, \text{ где для}$$

$$\forall i \in \{1..n\} \exists (Tw_{i1}..Tw_{im}) \in \{1..N\}^m \mid A_i = (Tw_{i1}..Tw_{im}).$$

Суть задачи генерации анкет заключается в выполнении следующих двух требований:

1. Запрещается повтор любого шрифтового слова-стимула Tw_{ij} в одной анкете i , т.е.:

$$\forall i \in \{1..n\} \forall (j, j') \in \{1..m\} j \neq j' \Leftrightarrow Tw_{ij} \neq Tw_{ij'}$$

2. Максимальный разброс частоты f_k проявления стимула k ограничен: он должен быть как можно ниже. Идеальным считается случай, когда частоты имеют либо наперед заданное значение f , либо значение $f+1$, т.е.

$$\forall (k, k') \in \{1..N\}^2 f_k < f_{k'} \Leftrightarrow f_k = f_{k'} + 1.$$

Составление статей шрифтового ассоциативного словаря

В базе данных эксперимента после ввода имеется множество ассоциативных пар (стимул—реакция), распределенных по анкетам. Статья ассоциативного словаря представляет собой запись слова-стимула (S) и соответствующего ему множества слов-реакций (R) — ассоциативную дефиницию, при этом для каждой из реакций указана абсолютная частота ее встречаемости в паре с данным стимулом. Для составления статей ассоциативного словаря нужно отсортировать множество ассоциативных пар по стимулу и для каждого стимула подсчитать частоту встречаемости соответствующих ему реакций.

Необходимо получить $(\Delta_{p=1}.. \Delta_{p=N})$ — ассоциативные дефиниции стимулов (s_p, s_N) . Структура ассоциативной дефиниции следующая:

$$\Delta_p = ((R_{p1}, f_{p1})..(R_{pd}, f_{pd})),$$

где R_{pu} — u -я реакция ассоциативной дефиниции стимула s_p ; f_{pu} — количество ответов R_{pu} на стимул s_p ; $d = d_p$ — «длина» ассоциативной дефиниции Δ_p .

$$\forall p \in \{1..N\} \forall u \in \{1..d_p\} \exists (i, j) \in \{1..n\} \times \{1..m\}$$

$$\mid p = w_{ij} \text{ и } R_{pu} = r_{ij}$$

$$\forall p \in \{1..N\} \forall u \in \{1..d_p\} f_{pu} =$$

$$= \left\| \{ (w_{ij}, r_{ij}) \in A_i, i \in \{1..n\} \mid p = w_{ij} \right\|$$

$$\forall p \in \{1..N\} \forall (u, u') \in \{1..d_p\}^2 u > u' \Rightarrow f_{pu} \geq f_{pu'}$$

Заключение

База данных эксперимента предназначена для эффективного хранения информации в виде, удобном для ее последующей обработки. При этом должны быть обеспечены минимальные затраты памяти на хранение данных и время выполнения операций над ними.

Основным научным результатом исследования будет являться когнитивная модель и методика анализа шрифтографических образов. По результатам экспериментов создается (по аналогии с ассоциативными словарями) словарь шрифтографических образов и ассоциативная шрифтографическая сеть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппович А.Ю., Гордеева Д.А. Исследование когнитивной модели шрифтографических образов и композиций на основе ассоциативного эксперимента. // *Challenges of information society and applied psycholinguistics — Proceedings of the X International Congress of ISAPL, 2013.* — с. 253–254.
2. Филиппович А.Ю., Черкасова Г.А. Парадигма «человек» в ассоциациях по «русскому региональному ассоциативному словарю» // *Русский язык в поликультурном мире: Сборник научных статей V Международного симпозиума, включенного в программу Международного фестиваля «Великое русское слово». В 2-х томах, Симферополь, 08–12 июня 2021 года / Отв. редактор Е.Я. Титаренко. Том 1.* — Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2021. — С. 54–60.
3. *Русский ассоциативный словарь / Ю.Н. Караулов, Г.А. Черкасова, Н.В. Уфимцева [и др.]. Том 1.* — Москва : Издательство «Астрель», 2002. — 784 с. — ISBN 5-17-015421-6. — EDN SFHRCE.
4. *Славянский ассоциативный словарь : русский, белорусский, болгарский, украинский / Н.В. Уфимцева, Г.А. Черкасова, Ю.Н. Караулов, Е.Ф. Тарасов.* — Москва : Московский государственный лингвистический университет, 2004. — 792 с. — ISBN 5-7904-0366-2. — EDN TUKZCX.
5. Филиппович А.Ю. Автоматизированная система научных исследований ассоциативных экспериментов (АСНИ АЭ) // *Вопросы психолингвистики.* — М.: Изд-во ММА. — 2007. — № 6 — с. 143–153.
6. Филиппович Ю.Н., Филиппович А.Ю., Матвеев Д.Г., Черкасова Г.А. Облачный сервис поддержки полиязычных психолингвистических исследований // *Русский язык в поликультурном мире : материалы I Международного симпозиума, Ялта, 08–12 июня 2017 года. Том 1.* — Ялта: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2017. — С. 392–397. — EDN ZDZVTL.
7. Гнусарева, А.К. Влияние условий проведения ассоциативного эксперимента на его результаты: Стоит ли проводить исследования в Интернете? // *Филологические этюды : Сборник научных статей молодых ученых: в 3 частях, Саратов, 26–28 апреля 2016 года. Том Выпуск 20, Часть 1–3.* — Саратов: СНИГУ имени Н.Г. Чернышевского, 2017. — С. 264–267. — EDN ZKHYGH.
8. Документация PostgreSQL // URL: <https://www.postgresql.org/docs/14/intro-whatIs.html>

© Филиппович Анна Юрьевна (annafil@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРИЛОЖЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ CSRF В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ

APPLICATIONS OF MACHINE LEARNING IN SOFTWARE DEVELOPMENT TO PREVENT CSRF VULNERABILITIES IN WEB APPLICATIONS

Chavez Quiroz Gabriela Guadalupe

Summary. This article dives into the application of Machine Learning (ML) in detecting Server-Side Request Forgery (SSRF) vulnerabilities in web applications. SSRF vulnerabilities present significant risks by allowing attackers to manipulate requests from the server, which can lead to the exposure of sensitive data or unauthorized intrusions. This article examines how ML has become an essential tool for addressing SSRF, highlighting examples of ML algorithms used to identify patterns and anomalies in web requests. In addition, the successful integration of ML-based solutions into the software development cycle is discussed, enabling early and effective detection of SSRF vulnerabilities. In an increasingly interconnected digital world, this approach is crucial to strengthening security in web applications and online systems.

Keywords: machine learning, vulnerability detection, SSRF, web application security, cybersecurity.

Чавес Кирос Габриэла Гуадалупе

*аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
chaveskiros.g@edu.spbstu.ru*

Аннотация. В этой обзорной статье рассказывается о применении методов ML (Машинное обучение) в разработке программного обеспечения для предотвращения уязвимостей SSRF в веб-приложениях. Уязвимости SSRF (Подделка запроса на стороне сервера) представляют серьезную угрозу безопасности, позволяя злоумышленникам манипулировать запросами с сервера. В статье рассматривается, как машинное обучение стало важным инструментом раннего выявления и устранения этих уязвимостей. Описаны примеры алгоритмов машинного обучения, используемых в этом контексте, и способы их интеграции в цикл разработки программного обеспечения. Кроме того, обсуждаются технические проблемы, этические соображения и предлагается призыв к действию для сообщества разработчиков программного обеспечения для активного устранения этих критических уязвимостей.

Ключевые слова: машинное обучение, разработка программного обеспечения, SSRF, безопасность веб-приложений, обнаружение уязвимостей.

Введение

Сегодняшняя растущая зависимость от веб-приложений привела к постоянным опасениям по поводу кибербезопасности. Среди наиболее значимых угроз — уязвимости для SSRF, которые позволяют злоумышленникам отправлять вредоносные запросы с веб-сервера на внутренние или внешние ресурсы. Эти уязвимости могут привести к серьезным атакам, включая утечку конфиденциальных данных и несанкционированный доступ к внутренним системам. Разработка программного обеспечения стала фундаментальной основой, гарантирующей безопасность веб-приложений, и в этом контексте ML стало мощным инструментом. Эта обзорная статья посвящена применению методов ML в разработке программного обеспечения для предотвращения и смягчения уязвимостей SSRF. Мы рассмотрим, как ML стал важным союзником в раннем обнаружении этих угроз, представив примеры применяемых алгоритмов ML и подчеркнув их эффективную интеграцию в цикл разработки программного обеспечения.

По мере того, как мы вступаем в эпоху цифровых технологий, понимание и применение этих методов

становится необходимым для обеспечения безопасности веб-приложений и защиты критически важных данных. Кроме того, мы рассмотрим технические проблемы и этические соображения в этом контексте и обратимся с призывом к действию к сообществу разработчиков программного обеспечения для укрепления кибербезопасности во все более взаимосвязанном мире.

SSRF-уязвимости

Уязвимости SSRF возникают, когда злоумышленник может заставить веб-приложение отправлять HTTP-запросы с сервера в пункт назначения, контролируемый злоумышленником, или к внутренним ресурсам, к которым у него обычно не должно быть доступа. Эти запросы могут включать запросы к внутренним службам, облачным сервисам или даже к тому же веб-приложению, которое их создало. Большинство причин уязвимостей SSRF связаны с потребностями бизнеса. Сервер предоставляет возможность получать данные из других сервисов, и пользователи могут участвовать в доступе к URL-адресу. Однако сервер не выполняет строгую фильтрацию и не ограничивает адрес назначения запроса на доступ. Например, SSRF может использовать

ся для онлайн-транскодирования, перевода, совместного использования содержимого страницы и других функций [1]. Злоумышленник может использовать эту уязвимость для отправки запросов в непреднамеренное местоположение через серверное приложение. В типичной атаке SSRF злоумышленник также может использовать SSRF для подключения сервера к внутренним службам в инфраструктуре организации. Они также могут принудительно подключать сервер к произвольным внешним системам, предоставляя учетные данные и конфиденциальные данные [2][3].

Важность устранения проблемы подделки запросов на SSRF при разработке защищенного программного обеспечения имеет решающее значение в современном контексте сильно взаимосвязанных веб-приложений, поскольку это необходимо для защиты данных, предотвращения критических атак, поддержания репутации и доверия пользователей, соблюдения нормативных требований, снижения затрат на устранение неполадок и защиты от возникающих угроз. Эффективная кибербезопасность начинается на этапе проектирования и разработки, и SSRF является важнейшим аспектом этой безопасности.

Машинное обучение и обнаружение SSRF

Машинное обучение стало важным инструментом для выявления закономерностей и аномалий в веб-запросах, что позволяет эффективно обнаруживать SSRF. Алгоритмы машинного обучения, обученные на основе исторических данных и поведенческих моделей, могут оценивать входящие запросы и обнаруживать подозрительные отклонения в режиме реального времени. Это особенно ценно при выявлении атак SSRF, которые часто включают нетипичные запросы, направленные на внутренние или внешние ресурсы.

Примеры примененного ML

Регрессия — это метод, используемый для двух теорий. Во-первых, регрессионный анализ обычно используется для прогнозирования и предсказания, в котором его применение во многом совпадает с областью машинного обучения. Во-вторых, регрессионный анализ может использоваться в некоторых случаях для определения причинно-следственных связей между независимыми и зависимыми переменными [4][5]. В этом контексте он используется для прогнозирования непрерывных переменных, таких как вероятность возникновения кибератаки, количество зараженных устройств или время, необходимое системе для восстановления после инцидента, связанного с безопасностью.

Классификация — это процесс распределения данных по заранее определенным категориям или клас-

сам на основе их характеристик. В машинном обучении классификация обычно выполняется с использованием модели, которая была обучена на помеченном наборе данных. Модель учится определять закономерности и особенности в данных, которые указывают на каждый класс, а затем может использовать эти закономерности для прогнозирования новых немаркированных данных [6]. В контексте кибербезопасности классификация используется для выявления и прогнозирования наличия угроз и уязвимостей в компьютерных и сетевых системах, для идентификации различных классов сетевых атак, таких как подмена или сканирование. Кроме того, классификация может быть использована для группировки различных пользователей для группового анализа [4].

Кластеризация — это разделение набора данных на несколько групп таким образом, чтобы эти данные в одних и тех же группах были наиболее похожи на другие в той же группе и отличались от точек данных в других группах. Это в основном совокупность объектов на основе сходства и несходства между ними [7]. Она широко применяется в области кибербезопасности для выявления закономерностей и аномалий в данных, что может помочь обнаруживать киберугрозы и предотвращать атаки. Алгоритмы кластеризации в основном используются для поиска шаблонов данных или кластеров данных в среде больших данных, где маркировка данных становится сложной задачей. Одним из недостатков кластеризации по среднему значению является определение значения k в начале. Используя вычисления сходства признаков, кластеризация k -средних широко используется в приложениях безопасности [8][9].

Ассоциативные правила являются одним из основных способов представления структурных паттернов, лежащих в основе необработанных данных. Они представляют зависимости между наборами наблюдений, содержащихся в данных. Ассоциации, установленные этими правилами, очень полезны в области медицины, например, в области прогнозирования здоровья [10]. В контексте кибербезопасности правила партнерства могут помочь выявить подозрительные модели поведения и предсказать потенциальные угрозы. Некоторые используемые алгоритмы: Априорный, Эвклазный, FP-Рост.

Уменьшение размерности — это процесс уменьшения размерности объектов, но данные по-прежнему присутствуют. В уменьшенном наборе данных или наборе данных с низкой размерностью важнейшие признаки сохраняются, даже если какой-то отдельный паттерн исчезает [11][12]. Кроме того, он используется для уменьшения размера входных данных и последующего сохранения значительной дисперсии основных характеристик по сравнению с набором данных большего раз-

мера. В реальных данных это станет легко обнаруживать и использовать для приложений интеллектуального анализа данных и обеспечит высокую точность [13][14][15][16]. Некоторые используемые методы: Анализ главных компонент (PCA), Разложение по сингулярным значениям (SVD), Встраивание стохастических соседей, распределенных по T (TSNE), Линейный Дискриминантный анализ (LDA), Скрытый семантический анализ (LSA), Факторный анализ (AF), Анализ независимых компонентов (ICA), Факторизация неотрицательных матриц (NMF). В контексте кибербезопасности уменьшение размерности часто используется для анализа больших наборов данных и выявления закономерностей в поведении пользователей и потенциальных киберугроз. Входные данные сводятся к меньшему количеству переменных, что позволяет быстрее и эффективнее обнаруживать угрозы. Например, уменьшение размерности может использоваться для анализа журналов доступа к серверам и выявления закономерностей подозрительной активности.

Порождающие модели помогают нам лучше представлять или моделировать набор данных, генерируя данные в виде цепочек Маркова или просто используя порождающий итеративный процесс для достижения того же результата. Благодаря недавнему нововведению Generative Adversarial Networks (GAN) теперь стало возможным использовать искусственный интеллект для создания произведений искусства, музыки и т. д. с высокой степенью реализма [17]. Существует несколько методов генеративного моделирования, используемых в кибербезопасности, в том числе Конкурирующие генеративные сети (GAN) и Ограниченные Генеративные модели Больцмана (RBM). Эти модели основаны на идентификации шаблонов и характеристик во входных данных и используют эти шаблоны для генерации новых данных.

Интеграция ML-решений

Успешная интеграция ML-решений в цикл разработки программного обеспечения включает в себя несколько ключевых этапов:

Первоначальная оценка риска: определите области приложения, потенциально уязвимые для CSRF, и установите критерии риска.

Выбор ML-решений: Выберите подходящие ML-алгоритмы для обнаружения SSRF и сконфигурируйте модели.

Непрерывное обучение: Снабжайте модели соответствующими данными и постоянно корректируйте их, чтобы они адаптировались к новым угрозам.

Автоматизация процессов: внедрите автоматизацию для обнаружения и оповещения о SSRF в режиме реального времени.

Интеграция со средствами разработки: Интегрируйте решения ML в инструменты, используемые разработчиками, такие как интегрированные среды разработки (IDE) и системы контроля версий.

Сравнение традиционных методов обнаружения и подходов, основанных на ML, для SSRF

Сравнение традиционных методов обнаружения и подходов, основанных на ML, для обнаружения уязвимостей SSRF важно для понимания того, когда и как использовать каждый из них. Ниже приведены преимущества и недостатки каждого подхода, а также примеры инструментов и техник, связанных с каждым из них (см. табл. 1).

Таким образом, обнаружение уязвимостей SSRF с помощью машинного обучения обеспечивает расширенные возможности обнаружения и адаптивность к возникающим угрозам, но также создает проблемы, связанные с получением адекватных обучающих данных и обработкой ложноположительных и отрицательных результатов. Выбор этого подхода будет зависеть от сложности угроз и ресурсов, доступных для обучения и поддержки моделей ML. Во многих случаях комбинированная стратегия, включающая традиционное обнаружение и ML, может обеспечить надежную защиту от SSRF в веб-приложениях.

Технические и этические проблемы

Внедрение решений на основе ML для устранения уязвимостей, связанных с подделкой запросов на SSRF, сопряжено с техническими трудностями, а также этическими и юридическими соображениями. В этом разделе мы кратко описываем основные технические проблемы и рассматриваем этические и юридические аспекты, уделяя особое внимание конфиденциальности данных.

Технические проблемы:

Адаптация к изменениям: модели ML должны адаптироваться к изменениям в веб-трафике и запросах, что требует постоянного обучения и настройки, чтобы оставаться эффективными.

Ложноположительные и отрицательные результаты: Обнаружение SSRF на основе ML может генерировать ложноположительные результаты (неправильные предупреждения) или ложноотрицательные результаты (неспособность обнаружить реальные угрозы). Настройка моделей для уменьшения этих ошибок является постоянной задачей.

Таблица 1.

Сравнение традиционных методов обнаружения и подходов, основанных на ML, для SSRF

Методы	Преимущества	Недостатки
Методы блокировки IP/URL-адресов	<ul style="list-style-type: none"> • Простота • Эффективность • Эффективность против известных угроз 	<ul style="list-style-type: none"> • Неэффективны против новых угроз • Потенциальные ложноотрицательные результаты • Потребность в постоянном обслуживании
Способ проверки URL-адреса	<ul style="list-style-type: none"> • Конкретный фокус. • Низкое потребление ресурсов 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограничение по комплексному обнаружению • Неэффективное обнаружение маскировки • Неадаптивный
Правила брандмауэра и метод правил прокси-сервера	<ul style="list-style-type: none"> • Контроль доступа • Предотвращение несанкционированного доступа 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограничение сложного обнаружения • Сложная конфигурация • Требуют обновления вручную
Способ ограничения ресурсов	<ul style="list-style-type: none"> • Предотвращение злоупотребления ресурсами • Защита от атак типа «отказ в обслуживании» (DoS). 	<ul style="list-style-type: none"> • Не обнаруживает SSRF напрямую • Сложная конфигурация:
Ведение журнала	<ul style="list-style-type: none"> • Идентификация аномального поведения • Журнал действий • Видимость 	<ul style="list-style-type: none"> • Подразделение человеческого анализа • Ложные срабатывания и отрицательные результаты • Отсутствие предотвращения в режиме реального времени
Проверка подлинности билета	<ul style="list-style-type: none"> • Проактивный подход • Проверка входных данных • Защита от источников • Уменьшение площади атак 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограничивается статической проверкой • Сложность реализации • Потенциальное влияние на удобство использования
Обнаружение с помощью машинного обучения	<ul style="list-style-type: none"> • Обнаружение новых угроз • Адаптивность • Обучаемость • Уменьшение ложноположительных результатов • Долгосрочная эффективность 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуются обучающие данные • Потенциальные ложноположительные и отрицательные результаты • Вычислительные ресурсы и время: • Необходимость постоянного обновления. • Сложность внедрения:
Изучение функций	Позволяет автоматически идентифицировать соответствующие шаблоны вредоносного веб-трафика без необходимости получения подробных предварительных знаний. Это может повысить точность обнаружения SSRF.	Требуется надлежащий набор обучающих данных и алгоритмы обучения функциям. Это может увеличить сложность системы обнаружения.
Модели аномального поведения (модели обнаружения аномалий):	Они эффективны при выявлении аномальных моделей веб-трафика, которые могут указывать на атаку SSRF. Они могут быть полезны для обнаружения неизвестных угроз.	Может генерировать ложные срабатывания при неправильной настройке. Им требуется набор исторических данных, чтобы установить нормальное поведение.
Глубокое обучение	Они могут изучать иерархические представления данных, что полезно для обнаружения сложных шаблонов в веб-запросах. Они эффективны при обнаружении сложных угроз.	Они требуют очень больших наборов обучающих данных и значительных вычислительных ресурсов. Установка и точная настройка могут быть непростыми.

Разнообразие запросов: Веб-приложения могут генерировать значительное разнообразие запросов, что затрудняет создание моделей ML, которые являются достаточно универсальными для обнаружения всех вариантов SSRF.

Этические и юридические соображения:

Конфиденциальность данных: Обнаружение SSRF часто включает анализ веб-трафика, который может включать конфиденциальные или личные данные. Важно

обеспечить соблюдение законов о конфиденциальности и безопасную обработку конфиденциальных данных.

Прозрачность и объяснимость: Модели ML, особенно модели с глубоким обучением, могут быть сложными и их трудно интерпретировать. Прозрачность в принятии решений по безопасности важна для доверия пользователей и подотчетности.

Соответствие нормативным требованиям: Различные нормативные акты, такие как Общий регламент

Европейского союза по защите данных (GDPR), устанавливают конкретные требования к обработке персональных данных. Организации должны соответствовать этим требованиям при внедрении решений ML.

Ответственность: Юридическая и этическая ответственность в случае инцидентов безопасности, связанных с SSRF, должна быть четко определена. Это включает в себя ответственность разработчиков, владельцев приложений и поставщиков решений для обеспечения безопасности.

Направления на будущее и призыв к действию

В этом разделе мы исследуем возможные направления на будущее и призываем к действию сообщество разработчиков программного обеспечения.

Совершенствование модели ML: Будущие исследования могут быть направлены на разработку более сложных и точных моделей ML для обнаружения SSRF с учетом эволюции киберугроз.

Непрерывное обучение: Внедряйте системы ML с возможностями непрерывного обучения, которые адаптируются к возникающим угрозам и позволяют избежать устаревания.

Интерпретируемость: Работайте над интерпретируемостью моделей ML для понимания и объяснения решений в области безопасности, которые могут иметь решающее значение при аудите и соблюдении нормативных требований.

Продвинутое автоматизация: изучите передовые решения для автоматизации, которые не только обнаруживают SSRF, но и могут автономно принимать корректирующие меры.

Призыв к действию для сообщества разработчиков программного обеспечения:

Обучение и осведомленность: Продвигайте обучение кибербезопасности и ML в сообществе разработчиков программного обеспечения для создания высококвалифицированных команд в области безопасности.

Междисциплинарное сотрудничество: Поощряйте сотрудничество между специалистами по безопасности, разработчиками и экспертами по ML для совместного решения проблем SSRF.

Соответствие нормативным требованиям: убедитесь, что решения ML соответствуют требованиям конфиденциальности и безопасности, и поощряйте соблюдение стандартов и передовой практики.

Обмен опытом: Создание платформ для обмена опытом и извлеченными уроками при внедрении решений ML для обнаружения SSRF.

Выводы

Таким образом, применение машинного обучения для предотвращения уязвимостей SSRF представляет собой значительный прогресс в области кибербезопасности и разработки программного обеспечения. Раннее выявление SSRF с помощью моделей ML дает существенные преимущества с точки зрения безопасности, стоимости и соответствия нормативным требованиям. Поскольку мы вступаем во все более сложный киберпространственный ландшафт, важно решать технические и этические проблемы, связанные с этими решениями.

Сообщество разработчиков программного обеспечения играет решающую роль в содействии внедрению этих технологий и в продолжении исследований и совершенствовании возможностей ML для предотвращения SSRF и других угроз. Благодаря сотрудничеству и осведомленности мы можем еще больше повысить безопасность наших веб-приложений и защитить критически важные данные в постоянно развивающемся цифровом мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Luo H. Ssrf vulnerability attack and prevention based on php // International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE). IEEE. 2019. С. 469–472.
2. Shahriar, H.; Zulkernine M. Information-theoretic detection of SQL injection attacks // In Proceedings of the 2012 IEEE 14th International Symposium on High-Assurance Systems Engineering. 2012. С. 40–47.
3. Altulaihan, E.A.; Alismail, A.; Frikha M. A Survey on Web Application Penetration Testing // Electronics. 2023. Т. 12, № 5. С. 1229.
4. Wu, J., Liu, C., Cui, W., & Zhang Y. Personalized Collaborative Filtering Recommendation Algorithm based on Linear Regression. // 2019 IEEE International Conference on Power Data Science (ICPDS). 2019. С. 139–142.
5. Maulud, D., & Abdulazeez A.M. A review on linear regression comprehensive in machine learning // J. Appl. Sci. Technol. Trends. 2020. Т. 1, № 4. С. 140–147.
6. Shin Kan A. ¿Qué es la clasificación en el contexto del aprendizaje automático y la ciencia de datos? [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://prompt.uno/machine-learning/que-es-la-clasificacion-en-el-contexto-del-aprendizaje-automatico-y-la-ciencia-de-datos/>.
7. Priy S. Clustering in Machine Learning [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/clustering-in-machine-learning/> (дата обращения: 26.05.2023).

8. Bhuyan M., Bhattacharyya D., JK K. Network anomaly detection: methods, systems and tools. // IEEE Commun Surv Tutor. 2014. 2014. T. 16. C. 303–336.
9. Dasgupta, D., Akhtar, Z., & Sen S. Machine learning in cybersecurity: a comprehensive survey // J. Def. Model. Simul. 2022. T. 19, № 1. C. 57–106.
10. Sánchez-de-Madariaga, R., Martínez-Romo, J., Escribano, J.M.C., & Araujo L. Semi-supervised incremental learning with few examples for discovering medical association rules. // BMC Med. Inform. Decis. Mak. 2022. T. 22, № 1. C. 1–11.
11. Pandian, A.P., Palanisamy, R., & Ntalianis K. Proceeding of the International Conference on Computer Networks, Big Data and IoT (ICCBI-2019). 2020.
12. Mohammed, M.A., Al-Khateeb, B., Rashid, A.N., Ibrahim, D.A., Abd Ghani, M.K., & Mostafa S.A. Neural network and multi-fractal dimension features for breast cancer classification from ultrasound images. // Comput. Electr. Eng. 2018. T. 70. C. 871–882.
13. N. Sharma and K. Saroha. Study of dimension reduction methodologies in data mining // International Conference on Computing, Communication & Automation IEEE. 2015. C. 133–137.
14. Saini O., S. Sharma. A review on dimension reduction techniques in data mining // Comput. Eng. Intell. Syst. 2018. T. 9. C. 7–14.
15. Alamilla Hernández L.M. и др. Arquitectura REST para el desarrollo de aplicaciones web empresariales REST architecture for enterprise web application development // Rev. Electrónica sobre Ciencia, Tecnol. y Soc. 2021. T. 8. C. 15.
16. Zebari, R., Abdulazeez, A., Zeebaree, D., Zebari, D., & Saeed J. A comprehensive review of dimensionality reduction techniques for feature selection and feature extraction // J. Appl. Sci. Technol. Trends. 2020. T. 1, № 2. C. 56–70.
17. Harshvardhan, G.M., Gourisaria, M.K., Pandey, M., & Rautaray S.S. (A comprehensive survey and analysis of generative models in machine learning // Comput. Sci. Rev. 2020. T. 38. C. 100285.

© Чавес Кирос Габриэла Гуадалупе (chaveskiros.g@edu.spbstu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОТУЛИНИЧЕСКОГО НЕЙРОПРОТЕИНА ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНЫХ РАССТРОЙСТВ

THE USE OF BOTULINUM NEUROPROTEIN IN THE COMPLEX TREATMENT OF TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS

**D. Azizova
A. Khairutdinova
R. Hafizov**

Summary. Adentia in most cases is accompanied by the development of temporomandibular disorders (TMJ). We have found that the use of botulinum therapy in the complex treatment of adentia accompanied by TMJ under the control of electromyography (EMG) improves the well-being of patients, provides muscle relaxation of the masticatory muscles, reduces or removes pain in the TMJ and masticatory muscles. This is the reason to recommend botulinum therapy as an effective, safe and necessary treatment for TMJ. We recommend repeated injections of botulinotherapy after 3–6 months to obtain more stable results of treatment of TMJ.

Keywords: botulinum toxin, temporomandibular disorders, bruxism, masticatory muscles, pain.

Азизова Дина Анваровна
Кандидат медицинских наук, доцент,
Казанский федеральный университет
Daim-09@mail.ru

Хаирутдинова Айгуль Рафиковна
Кандидат медицинских наук, доцент,
Казанский федеральный университет
ajgele4ka@mail.ru

Хафизов Раис Габбасович
Доктор медицинских наук, профессор,
Казанский федеральный университет
implantstom@bk.ru

Аннотация. Адентия в большинстве случаев сопровождается развитием височно-нижнечелюстных расстройств (ВНЧР). Нами было установлено, что использование ботулинотерапии в комплексном лечении адентии, сопровождающейся ВНЧР под контролем электромиографии (ЭМГ) позволяет улучшить самочувствие пациентов, обеспечивает миорелаксацию жевательных мышц, уменьшает или убирает боль в ВНЧС и жевательных мышцах. Это является основанием рекомендовать ботулинотерапию в качестве эффективного, безопасного и необходимого лечения ВНЧР.

Рекомендуем проводить повторные инъекции ботулинотерапии через 3–6 месяцев для получения более стабильных результатов лечения ВНЧР.

Ключевые слова: ботулотоксин, височно-нижнечелюстные расстройства, бруксизм, жевательные мышцы, боль.

На сегодняшний день адентия является одной из распространенных патологий в структуре стоматологических заболеваний во всех возрастных группах [1]. Отсутствие зубов составляет 15 % всей патологии зубочелюстной системы. Дефекты зубных рядов во фронтальной области составляют 8,55 %; в области боковых зубов — 63,19 %. Включенные дефекты зубных рядов составляют 71,74 % адентии; концевые — 28,26 % [1].

Потеря зубов практически всегда снижает жевательную эффективность и влияет на морфологию и функцию всей зубочелюстной системы.

В случае адентии наблюдается локальная суб- и декомпенсация тканей периодонта зубов. Наряду с воспалительно-деструктивными заболеваниями тканей пародонта, разрушающими его структуру, отсутствие зуба неизбежно приводит к возникновению вторичных деформаций зубных дуг. Связанное с этим формирование супраокклюзионных, латеротрузивных или мезиотрузивных контактов ведет к нарушению синхронности мы-

шечного сокращения, работы элементов височно-нижнечелюстного сустава, а также к смещению жевательных циклов к интактной стороне челюсти. [17].

Височнонижнечелюстные расстройства (ВНЧР) представляют собой группу хронических болевых состояний, поражающих височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) и жевательные мышцы. Симптомы включают бруксизм, спонтанную боль при пальпации в жевательном аппарате и вокруг него (или в других местах головы и шеи) и часто нарушения подвижности нижней челюсти. Частота встречаемости у взрослого населения достигает 70–80 %. В комплексном лечении ВНЧР используется ботулинический нейροпротеин для коррекции мышечных расстройств жевательной мускулатуры. [9,14,23,24].

Ботулинический токсин — это токсин, вырабатываемый бактериями *Clostridium botulinum*. При внутримышечном введении ботулинического токсина в нервно-мышечное соединение, происходит паралич мышц путем ингибирования высвобождения ацетилхолина из пресинаптических двигательных нейронов. Этот ток-

син имеет широкое применение в стоматологии и в челюстно-лицевой хирургии, в частности. Он может быть применен при лечении заболеваний височно-нижнечелюстного сустава, невропатической боли в лице, параличе лицевого нерва, гипертрофии и гиперактивности жевательных мышц, сиалорея, дистония, невралгия тройничного нерва и других [18].

Адентия приводит к дисфункции височно-нижнечелюстного сустава и морфологическим изменениям в нем [17].

Ботулотоксин при данной патологии снимает боль, вызванную гиперактивностью в ВНЧС, поскольку боль локализовывалась в жевательных мышцах [19]. Его вводят внутримышечно в жевательную и височную мышцы, вызывая расслабление и снимая мышечное воспаление, что в свою очередь, приводит к улучшению открывания рта. Анальгезирующее действие ботулотоксина отмечается и в литературе [7–8, 20].

Это помогает улучшить парафункцию, такую как сжатие зубов, а также бруксизм и симптомы ВНЧР [21]. Инъекции ботулинического токсина выполняются под электромиографическим или ультразвуковым контролем [22].

Целью данного исследования явилась оценка эффективности использования ботулотоксина в комплексном лечении височно-нижнечелюстных расстройств.

Материалы и методы исследования

В данном исследовании приняли участие 32 пациента, из них 23 женщины и 9 мужчин. Контрольную группу составили 20 пациентов, из них 14 женщин и 6 мужчин. Всем пациентам проводилась клиническое и инструментальное обследование, которое включало в себя сбор анамнеза, жалоб, КЛКТ, электромиографическое исследование, а также анкетирование.

Анкетирование и электромиографическое исследование проводили как до комплексного лечения, так и после полноценного протезирования с помощью различных методик.

При анкетировании, осуществлялся опрос пациентов об ощущении боли в мышцах, о том, чувствовала ли она напряжение в суставе, замечает ли ограничение при открывании рта.

Ботулинотерапию проводили российским препаратом ботулинического токсина Релатокс, который не уступает по эффективности и безопасности зарубежным аналогам. Продолжительность действия препарата от 3 до 6 месяцев. Общая доза Релатокса выбиралась

в зависимости от степени выраженности ВНЧР и составляла от 70 ЕД до 160 ЕД. Средняя доза составила 110 ЕД. Инъекции ботулотоксина проводили в собственно жевательную, в височную, в латеральную и медиальную крыловидные мышцы.

Электромиографическое исследование проводили на электронейромиографе «Синапсис» (Нейротех, Россия). Полученные данные обрабатывались операционной системой Windows.

Проводили статическую и динамическую функциональные пробы — максимальное сжатие зубов в привычном прикусе и имитацию движений жевательных мышц. Параметры чувствительности — 250 мс/дел, развертка — 500 мкВ/дел, время каждой пробы — 10 сек. Каждый раз регистрировали амплитуду биопотенциалов мышц, далее проводили анализ индекса IMPACT, которая равнялась сумме средних амплитуд 2 височных и 2 собственно жевательных мышц с обеих сторон. Исследование на электромиографе проводили до начала лечения и через 14 дней после проведения ботулинотерапии.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ STATISTICA 10 и SAS JMP 11.

Результаты и их обсуждение

Пациенты с адентией, нуждающиеся в протезировании в 100 % случаев имели ВНЧР. Результаты анкетирования представлены в таблице 1.

Вопрос	До ботулинотерапии		Через 2 недели после ботулинотерапии		Динамика
	Да	Нет	Да	Нет	
1. Есть ли у вас ограничение при открывании рта?	34 %	76 %	13 %	87 %	21 %
2. Замечаете ли вы нарушения в суставе?	75 %	25 %	31 %	69 %	44 %
3. Есть ли боли в суставе?	53 %	47 %	12 %	88 %	35 %
4. Чувствуется ли напряжение в жевательных мышцах?	88 %	12 %	13 %	87 %	53 %
5. Высыпаетесь ли вы?	60 %	40 %	76 %	24 %	36 %
6. Есть ли у Вас боли в жевательных мышцах?	56 %	44 %	12 %	88 %	44 %
7. Ваше самоощущение хорошее?	64 %	36 %	86 %	14 %	22 %
8. Имеется ли у Вас ночное «скрежетание зубами»?	75 %	25 %	15 %	85 %	60 %
9. Есть ли у Вас «хруст» и «щелканье» в ВНЧС?	90 %	10 %	26 %	74 %	64 %

До лечения пациенты жаловались на боли в жевательных мышцах, в височно-нижнечелюстных суставах,

чувство усталости и напряжения в жевательных мышцах после сна, «скрежетание зубами» во сне. Так же наблюдались патологическая стираемость зубов, «щелчок» и «хруст» при движениях нижней челюсти, трещины коронковой части зуба, чувствительность зубов и рецессия десен.

После ботулинотерапии непосредственно через 2 недели наблюдалась значительная положительная динамика. При повторном анкетировании мы выявили, что улучшился сон в связи с уменьшением ночного «скрежетания зубами», пациенты отметили, что стали высыпаться, в связи с этим улучшилось самочувствие, уменьшились и исчезли боли в жевательных мышцах и ВНЧС. При пальпации пациенты отмечали отсутствие или исчезновение боли, а также уменьшение чувства напряжения в жевательных мышцах.

Результаты ЭМГ до и после ботулинотерапии представлены в таблице.

Показатель	Сжатие в центральной окклюзии, мкВ	Сжатие при жевании, мкВ	В покое, мкВ
До ботулинотерапии	4140+356	4270+395	320+24
Через 14 дней после ботулинотерапии	1530+158	2140+123	230+16
Динамика	-63,04 %	-49,88 %	-28,13 %

Данные таблицы наглядно показывают, что значения ЭМГ жевательных мышц на 14 день после ботулинотерапии значительно снизились — на 63,04 % при сжатии в центральной окклюзии и на 49,88 % при сжатии при жевании. Эти данные коррелируют с результатами анкетирования и повторного клинического обследования пациентов.

Таким образом, использование ботулинотерапии в комплексном лечении адентии, сопровождающейся височно-нижнечелюстными расстройствами под контролем ЭМГ позволяет улучшить самочувствие пациентов, обеспечивает миорелаксацию жевательных мышц, уменьшает или убирает боль в ВНЧС и жевательных мышцах. Это является основанием рекомендовать ботулинотерапию в качестве эффективного, безопасного и необходимого лечения ВНЧС.

Рекомендуем проводить повторные инъекции ботулинотерапии через 3–6 месяцев для получения более стабильных результатов лечения ВНЧС.

ЛИТЕРАТУРА

- Бухарбаев А.К., Чебан М.А. Особенности несъемного протезирования с опорой на дентальных имплантах // Актуальные проблемы теоретической, экспериментальной, клинической медицины и фармации: материалы 53-й ежегодной Всероссийской конференции студентов и молодых ученых, посвященной 90-летию доктора медицинских наук, профессора, члена-корреспондента Российской Академии Естествознания Бышевского Анатолия Шулимовича. — 2019. — С. 320–321.
- Вафина К.И., Житко А.К., Житко Р.К. ПОСТОЯННОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ НА ИМПЛАНТАТЕ // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2023. — №03. — С. 146–150 DOI 10.37882/2223–2966.2023.03.05
- Комплексный подход к диагностике мышечно-суставной дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / М.А. Амхадова, М.Ш. Абдурахманова, Б.М. Кхир [и др.] // Госпитальная медицина: наука и практика. — 2022. — Т. 5, № 3. — С. 5–11.
- Максимова, М.Ю. Диагностика и лечение неврологических орофациальных болевых синдромов / М.Ю. Максимова // Российский журнал боли. — 2023. — Т. 21, № 1. — С. 5–12.
- Методы лечения пациентов с синдромом болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / Е.В. Истомина, Н.А. Цаликова, М.Г. Гришкина, С.М. Гусулаева // Актуальные вопросы стоматологии: сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ профессору Исааку Михайловичу Оксману. — Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2021. — С. 609–616.
- Особенности проявления жевательного рефлекса у пациентов после стоматологической реабилитации зубными протезами на искусственных опорах / М.И. Музыкин, А.К. Иорданишвили, Е.Н. Жарова [и др.] // Якутский медицинский журнал. — 2021. — № 4(76). — С. 38–42.
- Орлова О.Р., Алексеева А.Ю., Коновалова З.Н. и др. Возможности противоболевого действия ботулинотерапии в клинической практике. *Терапия* 2018;7(25):52–6. DOI: 10.18565. [Orlova O.R., Alekseeva A.Yu., Konovalova Z.N. et al. Possibilities of the analgesic action of botulinum therapy in clinical practice. *Terapiya = Therapy* 2018;7(25):52–6. (In Russ.)].
- Орлова О.Р., Коновалова З.Н., Алексеева А.Ю. и др. Взаимосвязь бруксизма и болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава. *Русский медицинский журнал. Болевой синдром* 2017;24:1760–3. [Orlova O.R., Konovalova Z.N., Alekseeva A.Yu. et al. The relationship of bruxism and pain dysfunction of the temporomandibular joint. *Russkiy medicinskiy zhurnal. Bolevoy syndrom = Russian medical journal. Pain syndrome* 2017;24:1760–3. (In Russ.)].
- Орлова О.Р., Сойхер М.И., Сойхер М.Г. и др. Бруксизм: методика применения и результаты лечения ботулинотерапией (Релатокс). *Неврологические болезни* 2019;9(2):12–20

10. Пилипенко, Е.Б. Использование ботулинотерапии в комплексе лечения при поражении лицевого нерва / Е.Б. Пилипенко, Г.Р. Касаева // E-Scio. — 2021. — № 4(55). — С. 557–563.
11. Показания к применению ботулотоксина а в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии / М.В. Салтовец, И.В. Габбасова, В.А. Слетова [и др.] // Новое в теории и практике стоматологии: материалы XXII Форума в рамках научно-практической конференции стоматологов Юга России «Стоматология XXI века». — Ставрополь: Ставропольский государственный медицинский университет, 2023. — С. 167–170.
12. Покинтелица, И.И. Механизмы развития бруксизма и ботулинотерапия (обзор литературы) / И.И. Покинтелица, Е.С. Санникова, И.Ю. Маклакова // Оригинальные исследования. — 2022. — Т. 12, № 12. — С. 197–206.
13. Сабирова, Д.К. Анализ эффективности применения ботулотоксина типа а у пациентов с бруксизмом / Д.К. Сабирова, Р.А. Салеев, Э.Ю. Кузнецов // Актуальные вопросы стоматологии: сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ профессору Исааку Михайловичу Оксману. — Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2021. — С. 706–710.
14. Урманова К.М. Использование ботулотоксина при лечении адентии/К.М. Урманова, Д.А. Азизова, //Здоровье человека в XXI веке. Качество жизни: сборник науч.-практической конф.с международн участием — Казань., 2023. — С. 63–66.
15. Шипика, Д.В. Опыт клинического применения ботулинического токсина типа А в алгоритме лечения пациентов с синдромом болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / Д.В. Шипика, Д.В. Лян, А.Ю. Дробышев // Стоматология. — 2021. — Т. 100, № 1. — С. 44–51.
16. Эффективность ботулинотерапии при тригеминальной невралгии / Л.П. Мингазова, О.Р. Орлова, М.И. Сойхер [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. — 2021. — Т. 121, № 6. — С. 40–45.
17. Beliaiev, E.V. Frequency structure and dynamics of adentia development and related secondary dental deformations among young people [Текст] / E.V. Beliaiev, V.Yu. Filimonov, M.O. Dmitriev, T.R. Zakalata // World of Medicine and Biology. — 2020. — Vol.3, №73. — P.12–16
18. Serrera-Figallo, M-A. Use of Botulinum Toxin in Orofacial Clinical Practice [Текст] / M-A. Serrera-Figallo, G. Ruiz-de-León-Hernández, D. Torres-Lagares, A. Castro-Araya, O. Torres-Ferrerosa, E. Hernández-Pacheco, J-L. Gutierrez-Perez // Toxins (Basel). — 2020. — Vol.12, №2. — P.112
19. Kim HS, Yun PY, Kim YK. A clinical evaluation of botulinum toxin-a injections in the temporomandibular disorder treatment. Maxillofac Plast Reconstr Surg. 2016; 38(1) 6. Freund BJ, Schwartz M. Treatment of chronic cervicalassociated headache with botulinum toxin A: A pilot study. Headache. 2000;40(3):231-6.
20. Aoki K.R. Review of a proposed mechanism for the antinociceptive action of botulinumtoxin type A. Neuro Toxicology 2005;26:785–93. DOI: 10.1016/j.neuro.2005.01.017. PMID: 16002144.
21. Schwartz, M.; Freund, B. Treatment of temporomandibular disorders with botulinum toxin. Clin. J. Pain 2002, 18 (Suppl. S6), S198–S203.
22. Mor, N.; Tang, C.; Blitzer, A. Temporomandibular Myofacial Pain Treated with Botulinum Toxin Injection. Toxins 2015, 7, 2791-2800. <https://doi.org/10.3390/toxins7082791>
23. Parker, M.L. Prevalence of and Changes in Tooth Loss Among Adults Aged ≥50 Years with Selected Chronic Conditions — United States, 1999–2004 and 2011–2016 [Текст] / M. L. Parker, G. Thornton-Evans, L. Wei, S. O. Griffin // MMWR Morb Mortal Wkly Rep. — 2020. — Vol.69, №21. — P.641–646
24. Bentsianov B, Francis A, Blitzer A. Botulinum toxin treatment of temporomandibular disorders, masseteric hyper-trophy, and cosmetic masseter reduction. Oper Tech Otolaryngol Head Neck Surg. 2004;15(2): 110-3.

© Азизова Дина Анваровна (Duim-09@mail.ru); Хаирутдинова Айгуль Рафиковна (ajgele4ka@mail.ru); Хафизов Раис Габбасович (implantstom@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНФЕКЦИОННОГО ЭНДОКАРДИТА НА ПРИМЕРЕ ПАЦИЕНТОВ С НАЛИЧИЕМ ФАКТОРОВ РИСКА

CLINICAL CHARACTERISTICS OF INFECTIOUS ENDOCARDITIS IN THE EXAMPLE OF PATIENTS WITH RISK FACTORS

**E. Borisova
T. Ivanova**

Summary. The purpose of the analysis of these clinical cases was to study the main features of the clinical and laboratory-instrumental picture, the principles of antibiotic therapy, as well as complications of infective endocarditis in patients with risk factors. Two clinical cases of infective endocarditis in patients with risk factors who were treated in the cardiology department of the Republican Hospital No. 1 — the National Center of Medicine of the city of Yakutsk are presented. It has been practically shown that a significant role in the diagnosis of infective endocarditis is played by the correct, careful questioning of anamnestic data. In practice, the low role of the Duke criteria in the diagnosis of infective endocarditis is noticeable, a large role is given to the visualization of vegetations by echocardiography, and microbiological diagnosis of blood cultures for sterility is also important. In the treatment of patients, multiple schemes of combined antibiotic therapy were used, taking into account the data of blood cultures. During the treatment period, the patients showed normalization of laboratory parameters with the preservation or progression of vegetations, the clinical picture of the current infectious process, which may be associated with an atypical course of infective endocarditis in patients with risk factors. Both patients had absolute indications for surgery in the form of uncontrolled infection, large vegetations, development of severe tricuspid valve regurgitation, concomitant conditions, complications such as heart failure, and sepsis.

Keywords: infective endocarditis, Duke's diagnostic criteria, valvular vegetations, antibiotic therapy.

Борисова Екатерина Петровна
К.м.н., доцент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный
федеральный университет
имени М.К. Аммосова», (г. Якутск)
borisovaep75@mail.ru

Иванова Тускулаана Андреевна
Ординатор, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет имени М.К. Аммосова», (г. Якутск)
tusku96@mail.ru

Аннотация. Целью анализа данных клинических случаев явилось изучение основных особенностей клинической и лабораторно-инструментальной картины, принципов антибактериальной терапии, а также осложнений инфекционного эндокардита у пациентов с наличием факторов риска. Представлены два клинических случая инфекционного эндокардита у пациентов с наличием факторов риска, проходивших лечение в кардиологическом отделении Республиканской больницы №1 — Национального центра медицины города Якутска. Практически показано, что значительную роль в диагностике инфекционного эндокардита играет правильный, своевременный сбор анамнестических данных. На практике заметна низкая роль критериев Дьюка в диагностике инфекционного эндокардита, большая роль отводится визуализации вегетаций методом эхокардиографии, также важна микробиологическая диагностика посевов крови на стерильность. В лечении пациентов применялись множественные схемы комбинированной антибактериальной терапии с учетом данных посевов крови. За период лечения у пациентов наблюдалась нормализация лабораторных показателей при сохранении или прогрессировании вегетаций, клинической картины текущего инфекционного процесса, что может быть связано с нетипичным течением инфекционного эндокардита у пациентов с факторами риска. У обоих пациентов были абсолютные показания для оперативного вмешательства в виде неконтролируемой инфекции, больших размеров вегетаций, развития тяжелой регургитации на трикуспидальном клапане, сопутствующих состояний, осложнений в виде сердечной недостаточности, сепсиса.

Ключевые слова: инфекционный эндокардит, диагностические критерии Дьюка, клапанные вегетации, антибактериальная терапия.

Введение

Основы современных представлений об инфекционном эндокардите (ИЭ) были заложены еще в 80-х годах XIX в. в работах профессора Московского университета, заведующего факультетской клиникой Московских Высших женских курсов А. П. Лангового (1884–1885) и в трудах представившего первое всеобъемлющее описание ИЭ на английском языке профессора Вильяма Ослера (William Osler, 1885) [1].

Современный ИЭ отличается от описанного классиками: преобладание подострых форм, вызванных

стрептококками, у молодых пациентов с ревматическими пороками сердца сменилось преимущественной стафилококковой этиологией ИЭ и наибольшей частотой заболевания у пожилых пациентов с кальцинированными пороками сердца или электрокардиостимуляторами, а также у инъекционных наркоманов [2]. Однако характеристика ИЭ, данная Вильямом Ослером в знаменитой Галстонианской лекции в 1885 г., остается актуальной: «Немногие заболевания представляют большую трудность на пути постановки диагноза, чем злокачественный эндокардит» [1]. По данным Росстата в России регистрируют ежегодно около 5–8 тыс. случаев ИЭ, в 2010–2017 гг. в больницах находились 48 760 паци-

ентов с диагнозом ИЭ, из которых 10 588 умерли в стационаре (летальность 21,71 %). Частота диагностических ошибок при ИЭ в стационарах России в 2012–2014 гг. составила 23,5–26,4 % [3].

Через 130 лет, несмотря на технический прогресс, ИЭ остается в категории заболеваний с ростом заболеваемости, высокой летальностью и в целом «трудным диагнозом».

Цель исследования: изучение основных особенностей клинической и лабораторно-инструментальной картины, принципов антибактериальной терапии, а также осложнений инфекционного эндокардита на примере клинических случаев пациентов с наличием факторов риска.

Материалы и методы: представлены два клинических случая инфекционного эндокардита у пациентов с наличием факторов риска, проходивших лечение в кардиологическом отделении Республиканской больницы №1 — Национального центра медицины города Якутска.

Результаты исследования и их обсуждение

Инфекционный эндокардит у пациента с инъекционной наркоманией

Пациент А., 43 года. Ухудшение самочувствия отмечал с 14.10.2021 г., когда стало беспокоить повышение температуры тела до 39,4° С. Обратился в поликлинику, амбулаторно принимал «Амоксициллин/клавулат» внутрь по 1000 мг х 3 раза в сутки в течение 5 дней — без эффекта. 19.10.2021 экстренно поступил в пульмонологическое отделение Республиканской больницы №1 — Национального центра медицины (РБ№1-НЦМ) города Якутска с жалобами на общую слабость, чувство сдавления грудной клетки, одышку. Находился на стационарном лечении по 12.11.2021 с клиническим диагнозом внебольничная двухсторонняя полисегментарная пневмония тяжелой степени тяжести. На рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) грудной клетки множественные очаги и фокусы с признаками распада в легких, внутригрудная и периферическая лимфаденопатия. В ходе параклинических исследований была проведена эхокардиография (ЭхоКГ), где была выявлена вегетация на створке трикуспидального клапана (ТК) размером ~ 18 мм х 10 мм.

При сборе анамнестических данных выявлено, что пациент с 2017 г. состоит на учете в наркологическом диспансере по поводу инъекционной наркомании. Хронический вирусный гепатит «С» без цитолитической активности с 2014 г. В 2019 г. была выявлена ВИЧ-инфекция. Травмы: в 1996 г. проникающее ранение живота, раз-

рыв поджелудочной железы, проведена спленэктомия. В 2007 г. нефрэктомия правой почки по поводу гидро-нефроза.

В пульмонологическом отделении пациент получал эмпирическую антибактериальную терапию (АБТ): Цефоперазон сульбактам 1500 мг х 2 раза в сутки (10 дней); Амикацин 15 мг/кг тела х 1 раз в сутки (15 дней); Ципрофлоксацин 400 мг х 2 раза в сутки (4 дня); Рифампицин 300 мг х 2 раза в сутки (4 дня); Ко-тримоксазол 480 мг х 3 раза в сутки (17 дней); Цефазолин 2000 мг х 3 раза в сутки (14 дней). Проводилась противогрибковая терапия: Флуконазол 400 мг в/в кап в 1-й день, далее 200 мг в/в кап (5 дней); Микафунгин 100 мг х 1 раз в сутки в/в кап (17 дней). На фоне проводившейся терапии, сохранялись эпизоды субфебрильной температуры до 37,2°С. 12.11.2021 г. был выписан на амбулаторное долечивание.

Короткий двухнедельный курс АБТ и перевод на амбулаторное долечивание был не оправдан в виду большого размера вегетации, отсутствия отчетливого клинического эффекта АБТ. 22.11.2021 г. А. вновь отметил присоединение лихорадки до 38,5° С, в связи с чем повторно был госпитализирован в пульмонологическое отделение. 25.11.2021 на ЭхоКГ сохраняются признаки текущего ИЭ, вегетация на трикуспидальном клапане с увеличением размеров до 20 мм х 16 мм. 26.11.2021 г. пациент был переведен в кардиологическое отделение с диагнозом инфекционный эндокардит.

При физикальном осмотре: нормостеник (ИМТ=24,2 кг/м²), кожные покровы и слизистые оболочки чистые, обычной окраски, влажности. Склеры чистые. Дыхание жесткое, проводится по всем полям, хрипов нет. ЧДД 18 в 1 мин. SpO₂ 96 %. Сердечные тоны ясные, ритмичные. Выслушивается систолический шум над всеми аускультативными точками. ЧСС 71 уд. в мин. АД 110/70 мм.рт.ст. Отеков нет. Физиологические отправления без особенностей.

В общем анализе крови на момент перевода в кардиологическое отделение: признаки острой интоксикации — лейкоцитоз 17,3х10⁹/л, сдвиг лейкоцитарной формулы влево (палочкоядерные нейтрофилы 9,0 %, сегментоядерные нейтрофилы 61,0 %), ускорение СОЭ до 51 мм/ч. Биохимический анализ крови, коагулограмма, общий анализ мочи без патологических отклонений. СРБ повышен до 65,59 мг/л.

Проводилось исследование иммунного статуса на фоне получаемой антиретровирусной терапии по поводу ВИЧ-инфекции: IgA общий 3,00 мг/мл (0,70–3,00), IgM общий ↑ >3,20 мг/мл (0,60–2,00); IgG общий ↑ >24,0 мг/мл (8,00–16,00). Уровень циркулирующих иммунных комплексов в пределах референсных значений — 98 ед. Повышен маркер ранней активации клеточного имму-

нитета, отражающий гиперреакцию иммунитета на текущий острый инфекционный процесс — CD25+ ↑ 12,00 % (0,00–8,00). Значительно повышенный уровень интерлейкина-6 ↑ 101,70 пг/мл (0,00–10,00) отражает тяжесть состояния, возможные септические осложнения. Однако понижена популяция Т-хелперов CD4+ ↓ 23,00 % (33,00–50,00) и повышено содержание цитотоксических лимфоцитов CD8+ ↑ 42,00 % (16,00–39,00), что подтверждает иммунодефицитное состояние пациента.

Анализ мокроты патологический: мокрота серого цвета, с большим количеством лейкоцитов, эритроцитов, альвеолярных макрофагов, плоского эпителия в поле зрения. Анализ мокроты на кислотоустойчивые микобактерии: отрицательный. На РКТ органов грудной клетки больше данных за септическую эмболию легких.

Микробиологический посев крови от 24.11.2021 выявил *Staphylococcus aureus* MRSA, с сохраненной чувствительностью к эритромицину, моксифлоксацину, клиндамицину, триметоприм сульфаметоксазолу, цефокситину. Микробиологический посев мокроты от 24.11.2021 — выделена *Candida albicans*.

Предикторы неблагоприятного прогноза у пациента А.: внутривенная наркомания, иммунодефицитное состояние, сердечная недостаточность, *S. aureus*, грибы, большой размер вегетации, септическая эмболия легких.

Была назначена этиотропная терапия — первая комбинация в течение 29 дней: Цефепим сульбактам 1000 мг + 1000мг х 1 раз в сутки, Микафунгин 100 мг х 1 раз в сутки. На контрольном анализе крови на стерильность от 19.12.2021г.: рост аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов не выявлен. Заметно снижение острой фазы интоксикации: лейкоциты 10,9 х 10⁹/л, лейкоцитарная формула в пределах референсных значений. В динамике СОЭ со снижением до 42 мм/ч, нормализация СРБ, прокальцитонина, биохимический анализ крови, коагулограмма без изменений, скорость клубочковой фильтрации (СКФ) по СКД-EPI 101,85 мл/мин/1.73м². На РКТ легких подтверждается подострый процесс: поствоспалительный характер изменений. Тем не менее, ЭхоКГ без положительной динамики: на предсердной поверхности передней створки ТК визуализируется дополнительное, подвижное образование неправильной формы, в диастолу пролабирующее в полость правого желудочка, размерами ~ 20 мм х 17 мм. На створках ТК регургитация 3 степени.

Назначена вторая комбинация препаратов на 16 дней: Меропенем 1000 мг х 3 раза в сутки, Капсофунгин 50 мг х 1 раз в сутки. Меропенем применялся в данном случае эмпирически, кровь на стерильность была отрицательная, но сохранялись признаки текущей инфекции и картина ИЭ.

05.01.2022 г. пациент был переведен в инфекционное отделение №2 РБН№1-НЦМ в связи с положительным ПЦР на РНК COVID-19. Состояние средней степени тяжести, обусловленное течением инфекционного эндокардита. Самочувствие удовлетворительное, гемодинамика стабильная. Клинические анализы, ЭКГ без отрицательной динамики. ЭхоКГ, РКТ без существенной динамики.

Пациент прошел полное предоперационное диагностическое обследование, консультации специалистов (нефролога, пульмонолога, гастроэнтеролога), был получен вызов на госпитализацию в НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина на февраль 2022 г.

На момент выписки заключительный клинический диагноз был сформулирован следующим образом:

Основное заболевание: 1) Инфекционный эндокардит, подострое течение. Недостаточность трикуспидального клапана 3 степени (флотирующая вегетация на ТК больших размеров 2,0*1,6см).

Фон: Болезнь, вызванная ВИЧ-инфекцией, с персистентной генерализованной лимфаденопатией. Антиретровирусная терапия с 2019 г.

2) Новая короновиральная инфекция, подтвержденная ПЦР от 05.01.2022 г.

Осложнение: ХСН с сохраненной ФВ 69% 2А ст, ФК 2 по NYHA. Септическая пневмония, стадия рассасывания.

Сопутствующие заболевания: Хронический вирусный гепатит С без цитолитической активности. РНК HCV (+), высокой вирусемией 10⁶. Генотип 2. Фиброз печени 0. Стеатоз 0. Состояние после нефрэктомии правой почки по поводу гидронефроза в 2007. Состояние после удаления селезенки по поводу ножевой травмы в 1996 г.

21.01.2022 пациент А. был выписан из инфекционного отделения. На плановом осмотре у врача-кардиолога в Республиканском кардиологическом диспансере 10.02.2022 активных жалоб не предъявлял, состояние стабильное, был направлен на проведение оперативного вмешательства в объеме протезирования трикуспидального клапана в НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина г. Новосибирск.

Инфекционный эндокардит, ассоциированный с имплантированным электрокардиостимулятором.

Пациент С., 62 года. Поступил 29.09.2021 г. с жалобами на повышение температуры тела до 40° С, общую слабость, периодически возникающие давящие, сжимающие боли в области сердца, без связи с физической и эмоциональной нагрузкой, длительностью до нескольких минут, купирующиеся самостоятельно.

В анамнезе: имплантация электрокардиостимулятора (ЭКС) в 2008 г., реимплантация в 2015 г. в связи с истощением элемента питания. В 2017 г. была проведена ревизия ложа ЭКС с формированием нового ложа из-за образования свища. В начале июля 2021 г. у пациента диагностировали воспаление ложа ЭКС, 11.08.2021 г. в кардиохирургическом отделении РБН^{№1}-НЦМ проведена реимплантация ЭКС. По стабилизации состояния был выписан на дальнейшее амбулаторное ведение.

Через несколько дней после выписки у пациента поднялась температура тела максимально до 40° С. В течение 10 дней самостоятельно принимал таблетки «Амоксициллин/клавулат», парацетамол. 18.09.2021 г., отметив отсутствие эффекта от самолечения, вызвал бригаду скорой медицинской помощи и был госпитализирован в хирургическое отделение №2 Республиканской больницы №2-Центр экстренной медицинской помощи (РБН^{№2}-ЦЭМП) города Якутска, где был диагностирован ЭКС-ассоциированный инфекционный эндокардит. На фоне проводившейся АБТ сохранялось стойкое повышение температуры тела до 38–39° С. В анализах крови от 25.09.2021 г. был высеян *Staphylococcus aureus*, из раневого отделяемого от 29.09.2021 г. — *Staphylococcus epidermidis*, в анализе мокроты была выделена *Candida albicans*. 29.09.2021 г. был переведен в кардиологическое отделение РБН^{№1}-НЦМ, при физикальном осмотре — цвет кожи серовато-желтый («кофе с молоком»), нормостеническое телосложение (ИМТ=23,7кг/м²), повышение температуры тела до 38,2° С. При аускультации сердца — тоны сердца ритмичные, систолический шум по левому краю грудины и у мечевидного отростка. ЧСС 100 ударов в минуту. АД на обеих руках 100/70 мм.рт.ст. Дыхание везикулярное, проводится по всем полям, ослаблено в нижних отделах слева, хрипов нет. ЧДД 21 в минуту, сатурация сохранена — 98 %.

При поступлении в кардиологическое отделение РБН^{№1}-НЦМ в общем анализе крови был лейкоцитоз $16,7 \times 10^9/\text{л}$, сдвиг лейкоцитарной формулы вправо (палочкоядерных нейтрофилов — 2 %, сегментоядерных нейтрофилов — 88 %), относительная и абсолютная лимфопения — 4,0 % и $0,7 \times 10^9/\text{л}$, соответственно, ускорение СОЭ до 38 мм/ч, гипохромная анемия — эритроциты $3,62 \times 10^{12}/\text{л}$, гемоглобин 112,0 г/л, гематокрит 29,1 %. В биохимическом анализе крови отмечалась гипоальбуминемия 25,2 г/л; липидный профиль, печеночные ферменты, показатели функции почек, глюкоза, щелочная фосфатаза в норме. Креатинин 110,29 мкмоль/л (СКФ 61,46 мл/мин/1,73м² по СКД-EPI). В общем анализе мочи обращал на себя внимание темно-янтарный цвет мочи за счет холурии — билирубин 34,0 мкмоль/л, уробилиноген 34,0 мкмоль/л, протеинурия 0,5 г/л, в моче осадке выраженная пиурия 97,0 кл/мкл. Ревмапробы: С-реактивный белок ↑ 100,8 мг/л (0,00–10,00), антистрептолизин «О» 29,62 МЕ/мл (0,00–200,00). Прокальцитонин повышен до 12,48 нг/мл (0,00 < 0,50).

На ЭхоКГ от 29.09.2021 г. в полости правого предсердия была выявлена фиксированная на электроде вегетация размером 15 мм x 7 мм. На РКТ легких от 29.09.2021 г. — правосторонняя нижнедолевая полисегментарная (вероятно, септическая) пневмония. В плевральных полостях свободная жидкость слева в объеме 50–70 мл. На ультразвуковом исследовании органов брюшной полости — умеренная спленомегалия.

При оценке прогноза выявлены следующие неблагоприятные предикторы: возбудитель *S. aureus*, наличие грибковой инфекции, данные за септические осложнения, большой размер вегетации, пожилой возраст.

Была назначена этиотропная терапия (возбудители: *S. aureus*, *S. epidermidis* + *Candida albicans*): первая комбинация на 20 дней — Ципрофлоксацин 400 мг x 2 раза в сутки + Ванкомицин 1000 мг x 2 раза в сутки + Флуконазол 150 мг в сутки.

04.10.2021 был повторно проведен микробиологический посев крови и выделен *Staphylococcus aureus*, чувствительный к следующим антибиотикам: Цефокситин, Триметоприм сульфаметоксазол; Клиндамицин. Моксифлоксацин, Эритромицин, устойчивый к Бензилпенициллину. Посев на грибы от 08.10.2021 отрицательный.

19.10.2021 по решению консилиума выписка из медицинской карты пациента была направлена на телемедицинскую консультацию в НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина, был получен вызов на госпитализацию на 19.11.2021.

В контрольных анализах крови от 22.10.2022 наблюдалась положительная динамика в виде нормализации лейкоформулы — лейкоциты $8,1 \times 10^9/\text{л}$, лимфоциты 2,1 (25,6 %), палочкоядерные нейтрофилы 1,0%, сегментоядерные нейтрофилы 62,0 %, прокальцитонин нормализовался — 0,06 нг/мл. Уменьшились размеры вегетации по данным ЭхоКГ от 22.10.2022 до ~6,0*1,1*1,2 см. На РКТ легких отмечено уменьшение размеров ранее выявляемых разнокалиберных очагов и участков консолидации легочной ткани в обоих легких. Однако сохранялась фебрильная лихорадка до 38,5° С, ускоренная СОЭ 50 мм/ч, СРБ повысился до 93,83 мг/л.

В лечении продолжили АБТ второй комбинацией на 6 дней: Цефазолин 1000 мг x 3 раза в сутки + Ципрофлоксацин 400 мг x 2 раза в сутки и третьей комбинацией Цефазолин 1000 мг x 3 раза в сутки + Амикацин 900 мг 1 раз в сутки в течении 17 дней.

На контрольных анализах от 15.11.2022 выявлена отрицательная динамика: выраженный лейкоцитоз $25,2 \times 10^9/\text{л}$, палочкоядерный сдвиг влево до 10,0 %, сегментоядерных нейтрофилов 82,0 %, лимфопения 7,0 %, СОЭ 75 мм/ч, белки острой фазы повышены: СРБ 64,95 мг/л, прокальцитонин 15,04 нг/мл. На ЭхоКГ

от 17.11.2021 размеры вегетации в динамике меньше: ~0,9*0,7 см. На РКТ легких данных за пневмонию нет, воспалительные изменения в нижних долях легких.

В лечении была проведена коррекция и назначена 4 комбинация антибактериальной терапии: Цефоперазон/сульбактам 2+2 г x 2 раза в сутки + Кубицин 400 мг x 1 раз в сутки. Лечение фоновой и сопутствующей патологии также было проведено в полном объеме.

При выписке на фоне проводимой терапии гемодинамика стабильная, сохранялись эпизоды гипертермии до 38°C. Пациент был направлен в НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина г. Новосибирск на хирургическое лечение электродассоциированного инфекционного эндокардита.

В результате диагноз был сформулирован следующим образом:

Основное заболевание: Инфекционный эндокардит электрод-ассоциированный, подострая стадия. Состояние после имплантации ЭКС от 2009 г., операция реимплантации ЭКС-511 от 2015 г. Состояние после ревизии ложа ЭКС, формирования нового ложа ЭКС от 26.12.17. Пролезень ложа ЭКС. Состояние после имплантации однокломерного ЭКС Юниор SC слева, эл. Apollo 58 см, удаление ЭКС 511 справа, некрэктомия справа от 11.08.2021 г.

Осложнение: ХСН с сохраненной ФВ 65 %, 2 А ст, 2 ФК по NYHA. Септическая пневмония, в фазе рассасывания.

Сопутствующие заболевания: ИБС. Стенокардия напряжения 2 ФК.

Атеросклероз сонных артерий. Хронический панкреатит вне обострения. Хронический пиелонефрит вне обострения.

Заключение

В обоих клинических случаях манифестация инфекционного эндокардита была острая, клинически выраженная: стойкая гектическая лихорадка, общие симптомы интоксикации организма. Форма клинической картины, так называемая «маска эндокардита» у обоих пациентов была легочная, что связано с поражением

правых отделов сердца. Развитие септической эмболической пневмонии является «визитной карточкой» ИЭ правых отделов сердца, особенно у наркоманов, которая развивается в 65–100 % случаев [4].

Практически показано, что значительную роль в диагностике инфекционного эндокардита играет правильный, своевременный сбор анамнестических данных: парентеральное введение наркотиков, с предрасполагающим состоянием (ВИЧ-инфекция) у пациента А., имплантированный ЭКС у пациента С.

На практике заметна низкая роль критериев Дьюка в диагностике ИЭ, большая роль отводится визуализации вегетаций методом эхокардиографии. Важная роль у микробиологической диагностики крови на стерильность, тем не менее, надо иметь ввиду вероятность ложноотрицательного результата на фоне проводимой антибактериальной терапии [5]. У обоих пациентов микробиологический посев крови был положительным, другие лабораторные проявления были неспецифичны и более значимы для оценки эффективности терапии.

В лечении применялись множественные схемы комбинированной антибактериальной терапии с учетом данных посевов крови. За период лечения у пациентов наблюдалась нормализация показателей общей интоксикации организма, белков острой фазы воспаления, отрицательные микробиологические посева крови, при сохранении или прогрессировании эхокардиографических данных ИЭ, клинической картины текущего инфекционного процесса, что может быть связано с нетипичным течением ИЭ у пациентов с факторами риска: парентеральное введение наркотиков, с иммунодефицитным состоянием (ВИЧ-инфекция) у пациента А., имплантированный ЭКС и пожилой возраст у пациента С..

У обоих пациентов были абсолютные показания для оперативного вмешательства в виде неконтролируемой инфекции, больших размеров вегетаций, развития тяжелой регургитации на трикуспидальном клапане, сопутствующих состояний, осложнений в виде сердечной недостаточности, сепсиса. Оба пациента после стабилизации состояния были направлены в НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина г. Новосибирск для оказания высокотехнологичной медицинской помощи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писарюк А.С., Котова Е.О., Караулова Ю.Л., Мильто А.С. История учения об инфекционном эндокардите. Клиническая фармакология и терапия. 2018. Том 27. №2. С.77–84.
2. Демин А.А. и др. Клинические рекомендации: Инфекционный эндокардит и инфекция внутрисердечных устройств // Российский кардиологический журнал. 2021. Том 27. №10. С.113–173.
3. Моисеев В.С., Кобалава Ж.Д., Писарюк А.С. и др. Инфекционный эндокардит: клиническая характеристика и исходы (7-летний опыт лечения и наблюдения в многопрофильной городской больнице) // Кардиология. 2018. Том 58. №12. С.66–75.
4. Демко И.В., Пелиновская Л.И., Манхаева М.В., Ищенко О.П., Мосина В.А., Крапошина А.Ю., Иваницкая Э.Э. Особенности течения инфекционного эндокардита у инъекционных наркоманов // Российский кардиологический журнал. 2019. Том 24. №6. С. 97–102.
5. Демин А.А. Инфекционный эндокардит. — Кардиология: национальное руководство / под ред. Е.В. Шляхто. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. — 800 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕЧЕНИЯ ГИПОКСЕНОМ НА ВЫРАЖЕННОСТЬ ВОСПАЛЕНИЯ И ФИБРОЗА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ПАРОДОНТИТЕ

EVALUATION OF THE EFFECT OF HYPOXENE TREATMENT ON THE SEVERITY OF INFLAMMATION AND FIBROSIS IN CHRONIC PERIODONTITIS

E. Kalinina
A. Tsakoeva
A. Bandovkina
A. Kabisova

Summary. Periodontal diseases are considered a common disease, since, according to some data, they affect from 20 to 50 % of people, both in developed and developing countries. The high prevalence of periodontal diseases in adolescents, adults and the elderly makes them a public health problem. There are factors that increase the risk of developing periodontal diseases: tobacco smoking, poor oral hygiene, diabetes mellitus, a number of medications, burdened family history, stress. A number of studies confirm the existence of a link between periodontal diseases and systemic diseases, such as cardiovascular diseases, diabetes mellitus and adverse pregnancy outcomes. According to some data, periodontal diseases probably increase the risk of cardiovascular diseases by 19 %, which reaches 44 % among people aged 65 years and older. Reducing the incidence and prevalence of periodontal diseases can reduce the associated systemic diseases, as well as minimizing their financial impact on the healthcare system. Dentistry does not stand still and offers as a conservative treatment of periodontal diseases the use of drugs with an antioxidant mechanism of action, such as hypoxene, which reduces the severity of inflammation and fibrosis.

Keywords: periodontitis, inflammation, oxidative stress, hypoxene, antioxidant, antihypoxant.

Калинина Елена Александровна

Аспирант, Северо-Осетинская государственная
медицинская академия
kalinina8921@ya.ru

Цакоева Алёна Артемовна

Кандидат медицинских наук, доцент,
Северо-Осетинский государственный университет
имени К.Л. Хетагурова
Tsakoeva_dent1@yandex.ru

Бандовкина Алеветина Васильевна

Ставропольский государственный
медицинский университет
Vusky99@ya.ru

Кабисова Алина Черменовна

Северо-Осетинская государственная
медицинская академия
alinakabisova@bk.ru

Аннотация. Заболевания пародонта считаются распространенным заболеванием, так как, по некоторым данным, поражают от 20 до 50 % людей, как в развитых, так и в развивающихся странах. Высокая распространенность заболеваний пародонта у подростков, взрослых и пожилых людей делает их проблемой общественного здравоохранения. Имеются факторы, повышающие риск развития заболеваний пародонта: табакокурение, некачественная гигиена рта, сахарный диабет, ряд лекарственных препаратов, отягощенный семейный анамнез, стресс. Ряд исследований подтверждают наличие связи заболеваний пародонта с системными заболеваниями, такими как сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет и неблагоприятные исходы беременности. По некоторым данным, заболевания пародонта, вероятно, увеличивают риск кардиоваскулярных заболеваний на 19 %, что достигает 44 % среди людей в возрасте от 65 лет и старше. Снижение заболеваемости и распространенности заболеваний пародонта может уменьшить связанные с ними системные заболевания, а также минимизация их финансового воздействия на систему здравоохранения. Стоматология не стоит на месте и предлагает в качестве консервативного лечения заболеваний пародонта применение препаратов с антиоксидантным механизмом действия, таким как гипоксен, уменьшающий выраженность воспаления и фиброза.

Ключевые слова: пародонтит, воспаление, окислительный стресс, гипоксен, антиоксидант, антинипоксикант.

Введение

Заболевания пародонта считаются одними из наиболее распространенных воспалительных заболеваний, поражающих людей, и глобальное бремя заболеваний пародонта, измеряемое по распространенности, составляет от 20 до 50 %, при этом тяжелый пародонтит поражает 11,2 % во всем мире [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около

80 % среди детей и 95 % взрослых людей поражены теми или иными признаками заболевания тканей, которые окружают зуб и удерживают его в сингулярной альвеоле. Данные исследований ВОЗ отмечают, что наивысший уровень заболеваний пародонта прогрессирует в возрасте 20–44 лет, что соответствует 65–95 %.

В Российской Федерации распространенность заболеваний пародонта различна в возрастных группах:

до 48,2 % среди подростков, до 86,2 % среди зрелой возрастной группы, достигает 100 % у пожилых людей. По статистике, более половины населения имеют начальные воспалительные изменения, а каждый четвертый имеет начальные деструктивные изменения. Только 12 % людей не имеют заболевания пародонта, а 12 % страдают от умеренных и тяжелых поражений [2].

Термин охватывает широкий спектр патологических состояний, начиная от обратимого воспаления десен и заканчивая тяжелой формой, характеризующейся прогрессирующей деструкцией альвеолярного отростка [3]. Все клинические проявления имеют один и тот же патогенетический путь с резким увеличением агрегации бактериальных возбудителей (бактериальных бляшек) как преимущественно этиологического фактора и важных генетических и иммунорегуляторных индивидуальных детерминант тяжести заболевания [4]. В целом, обычное лечение поражений пародонта представляет собой механическую и мануальную нехирургическую процедуру, направленную на устранение над- и поддесневого бактериального налета и зубного камня [5]. В нескольких исследованиях изучалось применение дополнительной терапии при лечении пародонтита (например, лазерной или фотодинамической терапии) для улучшения иммунного ответа [6].

Несколько факторов увеличивают риск заболеваний пародонта. Эти факторы риска, модифицируемые и немодифицируемые, вносят свой вклад в клиническую значимость заболеваний пародонта. Курение выступает в качестве одного из основных факторов развития пародонтита, и снижение распространенности заболеваний пародонта связано со снижением уровня курения [7]. Негативное воздействие курения сигарет, сигар, марихуаны и трубки на ткани пародонта сходно. Курильщики в 3 раза чаще болеют тяжелой формой пародонтоза, чем некурящие. У курильщиков также наблюдается значительно повышенная потеря альвеолярной кости и более высокая распространенность потери зубов по сравнению с некурящими [8]. Имеющиеся данные подтверждают тот факт, что курение изменяет микробную флору полости рта, повышает уровень определенных пародонтальных микроорганизмов или влияет на реакцию организма. Было показано, что никотин вызывает разрушение тканей пародонта прямо или косвенно посредством взаимодействия с другими факторами [9]. Еще один важный фактор риска — плохая гигиена полости рта; связана с заболеваниями пародонта, а отсутствие надлежащей чистки зубов и других мер гигиены полости рта может способствовать отложению бактерий и образованию зубного налета на зубах и деснах, что может подготовить почву для воспалительных изменений в тканях пародонта. Существует выраженная связь между плохой гигиеной полости рта и повышенным накоплением зубного налета, высокой распространенностью и по-

вышенной тяжестью развития пародонтологического заболевания [10]. Не стоит забывать о гормональных изменениях в организме женщины, повышающие риск развития заболеваний пародонта [11]. В зависимости от фазы менструального цикла, женщины могут отмечать воспаление десен, что объясняется высоким уровнем прогестерона, так как он может блокировать синтез коллагеновых волокон и вызывать дилатацию сосудов [12]. В литературе последовательно показано, что сахарный диабет является одним из системных факторов риска заболеваний пародонта, который может играть важную роль в возникновении и прогрессировании заболевания [13]. Сахарный диабет связан с разрушением периодонтальной связки, что впоследствии может привести к потере зубов [14]. Жидкость десневой борозды и слюна имеют более высокие концентрации медиаторов воспаления, включая различные типы цитокинов, у пациентов с диабетом и пародонтитом по сравнению с людьми без диабета с пародонтитом [15].

В целом, заболевания пародонта являются проблемой, связанной с окислительным стрессом и недостаточностью антиоксидантов в организме [16]. Различные процессы окисления, спровоцированные окислительным стрессом, способны сильно повлиять на состояние пародонтальных тканей. При развитии пародонтита происходит усиление окислительного процесса, что сопровождается увеличением активных форм кислорода и азота в организме [17]. Однако это может привести к дисбалансу реакции организма и, следовательно, к изменению биомолекул, включая липиды, белки и нуклеиновые кислоты, что, в конечном итоге, приведет к повреждению пародонтальных тканей. Одним из способов противостояния эффектам свободных радикалов и других неблагоприятных ионных частиц может служить система антиоксидантной защиты, которая позволяет ингибировать или ограничить нанесенный вред тканям. Перед этим значит, необходимо соблюдать определенную балансировку уровней свободных радикалов и антиоксидантов в организме. Кроме того, возможна использование медикаментов, будучи сильными антиоксидантами, для усиления позитивного эффекта системы антиоксидантной защиты [18].

В настоящее время существует растущий интерес к использованию природных источников антиоксидантов в качестве вспомогательных средств для лечения различных заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, заболевания легких и атеросклероз [19]. Однако, такие состояния имеют связь с заболеваниями пародонта, что приводит к предположению о потенциальной пользе применения таких средств и для лечения данного заболевания. На данный момент, традиционные методы лечения пародонта могут давать худшие результаты, чем ожидалось, поэтому в литературе уже появилась идея использования добавок с антиоксидантными

компонентами в качестве адъювантов. Такой подход может помочь уменьшить повреждение пародонта и его системные эффекты в сравнении с лечением антибиотиками, которые могут вызывать резистентность или возникновение вторичных инфекций [20]. Взаимосвязь между окислительным стрессом и заболеванием пародонта является довольно сильной и может иметь двустороннее воздействие. С одной стороны, наличие воспаления пародонта приводит к увеличению количества маркеров окислительного стресса, а, с другой стороны, имеет тенденцию усиливать деструктивные процессы в пародонте [21].

Таким образом, использование природных источников антиоксидантов кажется перспективным для лечения заболеваний, связанных с пародонтальной проблематикой. Однако, необходимы дальнейшие исследования для определения реальной эффективности и безопасности таких методов лечения.

Отмечено, что применение гипоксена местно при воспалении пародонта быстро купировало воспалительный процесс и ускорило функциональную адаптацию пациентов [22]. Вероятно, антиоксидантная активность гипоксена играет важную роль в противовоспалительном действии данного препарата. Исследование демонстрирует, что гипоксен улучшает противовоспалительный эффект нестероидных противовоспалительных препаратов и сам по себе является умеренным противовоспалительным агентом [23].

Отметим, что при системном применении отечественный антигипоксант/антиоксидант гипоксен проявляет протекторный эффект. Возможно, это связано с регулирующим действием лекарственных препаратов на митохондриальные факторы самоадаптации к стрессовым воздействиям и с защитным действием на энергетическую функцию митохондрий. Такое действие может способствовать наличию выраженных антиоксидантных свойств у гипоксена, которые способствуют предотвращению развития окислительного стресса [24].

Данный антиоксидант обладает способностью связывать активные формы кислорода и азота через различные механизмы, включая перенос электрона, перенос атома водорода и образование аддукта [25]. Исследования показывают, что он эффективно гасит синглетный кислород, превосходя β -каротин в два раза, α -токоферол

и витамин Е — в 100 и 47 раз соответственно [26]. Кроме того, этот антиоксидант способен элиминировать другие свободные радикалы, что приводит к снижению уровней активных форм кислорода внутри и вне клеток. Он также ингибирует активацию NF- κ B, фрагментацию ДНК, активацию каспазы-3 и высвобождение цитохрома c [27]. По мнению экспертов, витамины и антиоксиданты являются важными элементами здорового образа жизни. Антиоксиданты помогают защитить клетки от повреждений, вызванных свободными радикалами, которые могут привести к различным заболеваниям, включая рак, сердечно-сосудистые заболевания и диабет. Одним из наиболее известных антиоксидантов является витамин С, который можно получить из фруктов и овощей, таких как апельсины, киви, красный перец и брокколи. Витамин Е, который можно получить из орехов и семян, также является эффективным антиоксидантом. Однако, помимо этих витаминов, существует множество других антиоксидантов, которые могут быть включены в рацион питания. Например, антиоксиданты, содержащиеся в зеленом чае, являются эффективными в борьбе со свободными радикалами и могут помочь в борьбе с различными заболеваниями. Таким образом, включение антиоксидантов в рацион питания может помочь защитить организм от повреждений клеток, вызванных свободными радикалами. Разнообразие источников антиоксидантов позволяет нам получать их из различных продуктов, что делает их доступными для всех.

Заключение

Местное применение препаратов с выраженным антиоксидантным и антигипоксическим действием в стоматологии может быть очень эффективным. Поскольку существует важная взаимосвязь между присутствием активных форм кислорода и воспалительным состоянием, антиоксидантная терапия может контролировать заболевание, уменьшая воспаление и фиброз вовлеченных тканей. Например, гипоксен может быть использован не только местно, но и системно в качестве стресспротекторного средства для оптимизации процесса терапии. Таким образом, заболевания пародонта являются серьезной проблемой, которая может привести к потере зубов и другим серьезным последствиям. Однако с помощью правильного ухода за зубами и деснами, регулярных посещений стоматолога и применения соответствующих препаратов, можно предотвратить развитие этой проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесова Н.А. Концепция гетерогенности болезней пародонта, определяющая особенности лечебной практики // Колесова Н.А., Политун А.М., Колесова Н.В. // Современная стоматология. 2006. №3. С. 61–64.
2. Бабаджанян С.Г., Казакова Л.Н. Влияние эндокринной патологии на развитие и течение заболеваний в полости рта // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9. № 3. С. 366–369.
3. Ng E., Tay J.R.H., Ong M.M.A. Minimally invasive periodontology: a treatment philosophy and suggested approach // International Journal of Dentistry. — 2021. — Т. 2021.

4. Loos B.G., Van Dyke T.E. The role of inflammation and genetics in periodontal disease //Periodontology 2000. — 2020. — Т. 83. — №. 1. — С. 26–39.
5. Cobb C.M., Sottosanti J.S. A re-evaluation of scaling and root planing //Journal of Periodontology. — 2021. — Т. 92. — №. 10. — С. 1370–1378.
6. Mestnik M.J. et al. The effects of adjunctive metronidazole plus amoxicillin in the treatment of generalized aggressive periodontitis: a 1-year double-blinded, placebo-controlled, randomized clinical trial //Journal of clinical periodontology. — 2012. — Т. 39. — №. 10. — С. 955–961.
7. Bergstrom J. Smoking rate and periodontal disease prevalence: 40-year trends in Sweden 1970–2010 //Journal of clinical periodontology. — 2014. — Т. 41. — №. 10. — С. 952–957.
8. Sanz M. et al. European workshop in periodontal health and cardiovascular disease—scientific evidence on the association between periodontal and cardiovascular diseases: a review of the literature //European Heart Journal Supplements. — 2010. — Т. 12. — №. suppl_B. — С. B3–B12.
9. Nociti Jr F.H. et al. Histometric evaluation of the effect of nicotine administration on periodontal breakdown: an in vivo study //Journal of periodontal research. — 2001. — Т. 36. — №. 6. — С. 361–366.
10. Albandar J.M. Global risk factors and risk indicators for periodontal diseases // Periodontology 2000. — 2002. — Т. 29. — №. 1. — С. 177–206.
11. Güncü G.N., Tözüm T.F., Çağlayan F. Effects of endogenous sex hormones on the periodontium—review of literature //Australian dental journal. — 2005. — Т. 50. — №. 3. — С. 138–145.

© Калинина Елена Александровна (kalinina8921@ya.ru); Цакоева Алёна Артемовна (Tsakoeva_dent1@yandex.ru);
Бандовкина Алевтина Васильевна (Bucky99@ya.ru); Кабисова Алина Черменовна (alinakabisova@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАННЕЕ РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ ПОРОКА АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА: СРАВНЕНИЕ НЕОКУСПИДИЗАЦИИ И КАРКАСНЫХ ПРОТЕЗОВ¹

EARLY LEFT VENTRICULAR MYOCARDIAL REMODELING AFTER CORRECTION OF AORTIC VALVE MALFORMATION: A COMPARISON OF NEOCUSPIDIZATION AND FRAME PROSTHESES

**R. Komarov
M. Tkachev
V. Savina
N. Bashmakov**

Summary. Objectives: Valve replacement is the «gold» standard in the correction of aortic valve defects. Currently, various correction options are available: mechanical or biological prosthesis implantation, transcatheter aortic valve implantation, aortic homografts, pulmonary autografts, autopericardium neocuspidation. The main objective of this study is to assess the impact of AC prosthetics using autopericardial neocuspidization (AVNeo) on LV reverse remodeling in the immediate postoperative period by conducting a comparative evaluation of postoperative results of symmetric, asymmetric autopericardial neocuspidization and AC prosthetics with mechanical and biological prostheses.

Methods: To assess the results of the interventions, a retrospective comparative study of 60 patients operated on for isolated AV malformation at the cardiac surgical department of the University Clinical Hospital No 1 of the Russian Ministry of Health (Sechenov University) from 2017 to 2022 was performed. The mean age of the patients was 60 ± 9 years (from 39 to 77 years). Gender distribution in the total group: male 75 % (n = 45), female 25 % (n = 15). Group 1 patients underwent AC replacement using symmetrical neocusps (according to the Sechenov University method) (n = 15); from group 2 — AV prosthesis with asymmetric neocusps from autologous pericardium (according to the classic Ozaki technique using original templates) (n = 15); from group 3 — AV prosthesis with implantation of a biological prosthesis (n = 15); from group 4 — AV prosthesis with implantation of a mechanical prosthesis (n = 15). Preoperative transthoracic echocardiography data and the last follow-up before discharge were analyzed. Decreased LV mass and LV myocardial mass index and relative wall thickness were used as an indicator of reverse LV remodeling.

Results: According to EchoCG data, left ventricular myocardial mass decreased from 216.69 ± 38.57 to 197.42 ± 40.98 g (p = 0.057) by the time of hospital discharge in group 1 patients (Komarov) myocardial mass decreased from 217.59 ± 72.22 to 180.13 ± 34.86 g in group 2 patients

Комаров Роман Николаевич

д.м.н., профессор, Первый Московский государственный
медицинский университет имени И.М. Сеченова»
(Сеченовский Университет)

Ткачев Максим Игоревич

Аспирант, Первый Московский государственный
медицинский университет имени И.М. Сеченова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
(Сеченовский Университет)

tkachev.cardiovascular@gmail.com

Савина Виктория Александровна

Первый Московский государственный медицинский
университет имени И.М. Сеченова
(Сеченовский Университет)

Башмаков Никита Сергеевич

Аспирант, Первый Московский государственный
медицинский университет имени И.М. Сеченова
(Сеченовский Университет)

Аннотация. Цели: Протезирование клапана является «золотым» стандартом в коррекции порока аортального клапана. В настоящее время доступны различные варианты коррекции: имплантация механического или биологического протеза, транскатетерная имплантация аортального клапана, аортальные гомографты, лёгочные аутографты, неokuspidизация аутоперикардом. Основной целью данного исследования является оценка влияния протезирования АК с использованием методики аутоперикардиальной неokuspidизации (AVNeo) на обратное ремоделирование ЛЖ в ближайшем периоде после операции путем проведения сравнительной оценки послеоперационных результатов симметричной, ассиметричной аутоперикардиальной неokuspidизации и протезирования АК механическими и биологическими протезами.

Методы: Для оценки результатов проведенных вмешательств было проведено ретроспективное сравнительное исследование 60 пациентов, оперированных по поводу изолированного порока АК, на базе кардиохирургического отделения Университетской клинической больницы №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) в период с 2017 по 2022 гг. Средний возраст пациентов составил 60 ± 9 лет (от 39 до 77 лет). Гендерное распределение в общей группе: мужской пол — 75 % (n = 45), женский — 25 % (n = 15). Пациентам из 1 группы было выполнено протезирование АК с использованием симметричных неостворок (по методике профессора Р.Н. Комарова) (n = 15); из 2 группы — протезирование АК ассиметричными неостворками из аутологичного перикарда (по классической методике Ozaki с использованием оригинальных шаблонов) (n = 15); из 3 группы — протезирование АК с имплантацией биологического протеза

¹ Работа поддержана грантом Сеченовского Университета в рамках открытого конкурса развития инновационных научных школ по теме «Неokuspidизация аортального клапана аутоперикардом без использования шаблонов. Биологический клапан из гомоперикарда».

(Ozaki) ($p = 0.075$); Group 3 patients (biological prosthesis) myocardial mass decreased from 294.89 ± 110.112 to 257.197 ± 80.676 g ($p = 0.096$); Group 4 patients (mechanical prosthesis) myocardial mass decreased from 246.57 ± 60.49 to 215.35 ± 56.17 g ($p = 0.118$).

Conclusions: In our study, we were able to observe a decrease in LV myocardial mass as early as the first weeks after surgery; there was also a significant, almost symmetrical, decrease in LV wall thickness and indexed myocardial mass. It can be noted that after autopericardial neocuspidization (AVNeo) and AV prosthesis with biological valve there is a greater regression of myocardial mass compared with mechanical prostheses. This is associated with suboptimal hemodynamic indices of the prostheses.

Keywords: left ventricular remodeling, aortic valve neocuspidization (AVNeo), mechanical (mAVR) prosthesis, biological (bAVR) prosthesis, the Ozaki procedure.

($n = 15$); из 4 группы — протезирование АК с имплантацией механического протеза ($n = 15$). Были проанализированы данные трансторакальной эхокардиографии до операции и последнего наблюдения перед выпиской. Уменьшение массы (ММЛЖ) и индекса массы миокарда ЛЖ и относительной толщины стенок использовались в качестве показателя обратного ремоделирования ЛЖ.

Результаты: По данным ЭхоКГ, масса миокарда левого желудочка у пациентов из 1 группы (симметричная неokuspidизация, группа Komarov) к моменту выписки из стационара снизилась с $216,69 \pm 38,57$ до $197,42 \pm 40,98$ г ($p = 0,057$); у пациентов из 2 группы (асимметричная неokuspidизация, группа Ozaki) масса миокарда снизилась с $217,59 \pm 72,22$ до $180,13 \pm 34,86$ г ($p = 0,075$); у пациентов из 3 группы (биологический протез) масса миокарда снизилась с $294,89 \pm 110,112$ до $257,197 \pm 80,676$ г ($p = 0,096$); у пациентов из 4 группы (механический протез) масса миокарда снизилась с $246,57 \pm 60,49$ до $215,35 \pm 56,17$ г ($p = 0,118$).

Выводы: В нашем исследовании мы имели возможность наблюдать снижение массы миокарда ЛЖ уже начиная с первых недель после операции, также отмечалось существенное, почти симметричное, уменьшение толщины стенок и индексированной массы миокарда ЛЖ. Можно отметить, что после аутоперикардиальной неokuspidизации (AVNeo) и протезирования АК биологическим клапаном имеется больший регресс массы миокарда по сравнению с механическими протезами. Это связано с субоптимальными гемодинамическими показателями протезов.

Ключевые слова: протезирование аортального клапана, ремоделирование миокарда ЛЖ, аутоперикардиальная неokuspidизация (AVNeo), биологический протез, механический протез, операция Озаки.

Введение

Поражение аортального клапана связано с эксцентричной или концентрической гипертрофией левого желудочка и нарушением его функции¹. Тяжелая аортальная недостаточность вызывает перегрузку объемом с увеличением конечно-диастолического объема левого желудочка и эксцентрической гипертрофией, но может не изменять соотношение толщины стенки желудочка к радиусу полости^{2,3}. При тяжелом аортальном стенозе происходит концентрическая гипертрофия желудочка без увеличения конечно-диастолического размера вплоть до поздней стадии заболевания, что увеличивает соотношение толщины стенки желудочка к радиусу полости⁴. Пациенты с гипертрофией ЛЖ подвержены риску сердечно-сосудистых заболеваний и повышенному риску смертности, что связано с систолической и/или диастолической дисфункцией⁵. Диастолическая функция улучшается постепенно и может полностью нормализоваться спустя долгое время после протезирования аортального клапана (ПАК)⁶. На ранних стадиях после ПАК у пациентов со стенозом аортального клапана наблюдается уменьшение как иММЛЖ, так и соотношение иММЛЖ/иКДО, что обеспечивает улучшение диастолического наполнения, тогда как у пациентов с аортальной регургитацией иММЛЖ уменьшается не так быстро, чем иКДО, вызывая условно «концентрическое» ремоделирование левого желудочка, наиболее

вероятно объясняющее наблюдаемое ухудшение диастолического наполнения у данной группы пациентов⁷. Общая цель ПАК — уменьшить перегрузку давлением и объемом левого желудочка, способствуя ремоделированию миокарда и уменьшению массы миокарда левого желудочка⁸. Клиническое влияние уменьшения массы миокарда левого желудочка не так хорошо изучено, несмотря на его широко распространенное признание в качестве показателя исхода после операции на аортальном клапане. Значительная гипертрофия ЛЖ иногда остается после ПАК по поводу АС⁹. В связи с этим, большинство предыдущих исследований были сосредоточены исключительно на транспротезном градиенте давления, хотя истинная проблема заключается не в самом градиенте давления, а в повышенном давлении в ЛЖ¹⁰; хотя, несомненно, ремоделирование миокарда является многофакторным процессом¹¹. Прогностические последствия регрессии массы миокарда ЛЖ после операции на аортальном клапане ещё не до конца изучены, но логика подсказывает, что отсутствие или слабое уменьшение массы ЛЖ ассоциируется с плохим клиническим исходом¹². Довольно часто такое состояние является следствием «пациент-протез несоответствия», когда эффективная площадь протеза по отношению к площади поверхности тела меньше $0,85^{13,14}$. В мировой литературе имеются многочисленные данные о ремоделировании миокарда после имплантации механических клапанов¹⁵, биологических каркасных протезов, бескаркасных¹⁶⁻¹⁸

(а также их сравнение^{19,20}), после процедуры TAVI^{21,22}, однако данные по ремоделированию миокарда после процедуры некуспидизации весьма ограничены²³. Процедура некуспидизации (протезирование аортального клапана перикардом) является хоть и не новым, но в последнее время весьма популярным выбором коррекции порока аортального клапана, поскольку отсутствие «каркаса» и прямая фиксация створок к фиброзному кольцу обеспечивает гемодинамический профиль нативного клапана²⁴. В данном исследовании мы оценили степень ремоделирования миокарда у двух групп пациентов после процедуры некуспидизации и после имплантации каркасного протеза до хирургического вмешательства и в ранние сроки после операции (через 2 недели, перед выпиской из стационара).

Цель — целью данного исследования является оценка влияния протезирования АК с использованием методики аутоперикардиальной некуспидизации (AVNeo) на обратное ремоделирование ЛЖ в ближайшем периоде после операции путем проведения сравнительной оценки послеоперационных результатов симметричной, асимметричной аутоперикардиальной некуспидизации и протезирования АК механическими и биологическими протезами.

Материалы и методы

В ретроспективное исследование были включены 60 пациентов, имеющие изолированный аортальный стеноз. Из исследования были исключены пациенты, подвергшиеся экстренной операции, пациенты с аортальной недостаточностью более 2 степени и пациенты с фибрилляцией предсердий. Все хирургические вмешательства выполнялись в отделении кардиохирургии Клиники аортальной и сердечно-сосудистой хирургии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова с января 2017 по декабрь 2022 года. Все пациенты были разделены на группы и подгруппы с учетом выбранной методики лечения. Каждому пациенту была проведена комплексная диагностика, включающая в себя эхокардиографию, ЭКГ, общий анализ крови и биохимические исследования.

ТТ ЭХО КГ выполнялась на аппарате Philips CX50 в соответствии со стандартным протоколом исследования²⁵. Для оценки АК применяли парастеральный доступ по короткой и длинной оси. Оценивалась как анатомия АК, так и скорость потока на аортальном клапане, градиенты, размер ФК и ЭПО. Также оценивались размерные и объёмные величины ЛЖ, ФВ, СДЛА, толщина ЗСЛЖ и МЖП. Масса миокарда ЛЖ рассчитывалась в М-режиме по формуле, рекомендованной Американским обществом эхокардиографии, и индексировалась к площади поверхности тела²⁶.

Хирургическое вмешательство выполнялось следующим образом: всем пациентам под эндотрахеальным

наркозом выполнялась срединная стернотомия с канюляцией аорты, верхней и нижних полых вен. Дренаж ЛЖ устанавливался в правую верхнюю лёгочную вену. В качестве защиты миокарда была выбрана фармакологическая кардиopleгия раствором Кустодиол, которая доставлялась антеградно неселективно. Затем выполнялась аортотомия, удаление повреждённых створок, тщательная декальцификация ФК АК, аорты и передней створки митрального клапана. Все каркасные протезы фиксировались узловыми швами на прокладках нитью Ethibond 2-0. Ход операции в группе AVNeo несколько отличался: после стернотомии забирался участок перикарда 7x8 см, который затем обрабатывался в 0,6 % растворе глутаральдегида в течение 10 минут с последующим трёхкратным промыванием в физиологическом растворе. После удаления створок, измерялись межкомиссуральные расстояния, на основании чего выбирался соответствующий шаблон для неостворки (для подгруппы Ozaki), либо же измерялся диаметр фиброзного кольца с помощью сайзера, на основании полученных данных расчётным способом выкраивались створки по методике профессора Р.Н. Комарова (для подгруппы Комаров). Сами створки фиксировались обвивным швом, начиная с середины межкомиссурального расстояния (точка надира), монофиламентной нитью Prolen 5-0. Более подробно техника подобной операции описана в другой статье²⁷. После операции аорту ушивали швом по Dorrance нитью Prolen 5-0.

Статистический анализ данных проводился с использованием программы Statistica 8.0. Описание категориальных признаков представили в виде абсолютной и относительной частоты встречаемости (n, %), количественных признаков, не соответствующих нормальному закону, и порядковых признаков — в виде медианы и квартилей (Me (Q1; Q3)). Сравнили две независимые выборки по бинарным признакам при помощи критерия хи-квадрат с поправкой непрерывности, при наличии малых ожидаемых частот (менее 5) применили точный критерий Фишера. Сравнили количественные и порядковые признаки в двух независимых группах при помощи критерия Манна — Уитни. Достоверными принимали значения при $p < 0,05$.

Результаты

Пациенты были разделены на 2 группы, каждая на 2 подгруппы: в группе AVNeo (n=30) 15 пациентов были прооперированы по технике Ozaki с использованием шаблонов, 15 по технике профессора Р.Н. Комарова расчётным способом без использования шаблонов; в группе «Протез» (n=30) 15 пациентам была выполнена имплантация биологического протеза (фирмы Medtronic, NeoCor) и 15 пациентам — механического протеза (фирмы Мединж, Sorin).

Таблица 1.

Сравнительная характеристика пациентов до операции

Параметр (ДО)		Группа AVNeo (n=30)		Группа «Протез» (n=30)	
		Подгруппа 1 (Котаров) (n = 15)	Подгруппа 2 (Ozaki) (n = 15)	Подгруппа 3 (Биологический) (n = 15)	Подгруппа 4 (Механический) (n = 15)
Возраст, лет, M ± SD (min–max)		48,18±18,37 (20–72)	54,35±16,66 (41–78)	62,71±11,12 (19–78)	58,25±13,75 (31–74)
Пол	Мужской	12 (80 %)	11 (73 %)	9 (60 %)	13 (86 %)
	Женский	3 (20 %)	4 (27 %)	6 (40 %)	2 (14 %)
ИМТ, M ± SD (min–max)		24,92±5,96 (20–41,4)	25,49±6,76 (20–35,4)	25,28±4,89 (1,89–34,5)	26,17±4,07 (22,6–40)
ППТ, M ± SD (min–max)		1,84±0,19 (1,5–2,1)	1,88±0,21 (1,43–2,1)	1,84±0,18 (1,6–2,4)	1,90±0,21 (1,47–2,22)
NYHA, степень, M ± SD		1,82±1,17	2,19±0,85	2,16±0,74	2,11±1,07
ФВ ЛЖ, % M ± SD (min–max)		67,4 ± 7,8 (50–78)	62 ± 6 (47–68)	62,8 ± 6,64 (52–70)	62,3 ± 8,4 (49–77)
КДО ЛЖ, мл M ± SD (min–max)		83,6 ± 21,6 (54–121)	74 ± 25 (46–127)	113,9 ± 37,19 (76–210)	98,2 ± 24,2 (73–146)
КСО ЛЖ, мл M ± SD (min–max)		28,4 ± 13,5 (16–61)	28 ± 10 (15–46)	43,04 ± 20,84 (24–94)	36,9 ± 12,3 (20–54)
Утолщение стенки ЛЖ > 1,6, n (%)		8 (53,3 %)	7 (46,6 %)	7 (46,6 %)	5 (33,3 %)
СДЛА, мм рт. ст. M ± SD (min–max)		38 ± 11,5 (25–60)	31,8 ± 6,6 (23–40)	35 ± 11,67 (24–55)	33,4 ± 5,3 (25–43)
ФК АК, мм M ± SD (min–max)		20,6 ± 3 (17–26,5)	20 ± 1,2 (18–22)	2,32 ± 0,37 (2,0–3,3)	2,1 ± 0,2 (1,8–2,5)
Площадь АК, см ² M ± SD (min–max)		0,85 ± 0,46 (0,47–2,06)	0,62 ± 0,14 (0,45–0,9)	0,746 ± 0,2 (0,5–1,08)	0,69 ± 0,26 (0,3–1,1)
Пиковый градиент, мм рт. ст. M ± SD (min–max)		91,2 ± 31,25 (42–161)	126,6 ± 31,57 (79–178)	102,54 ± 24,80 (75–147)	99,32 ± 31,02 (68–179)
Средний градиент, мм рт. ст. M ± SD (min–max)		48,66 ± 12,48 (25–70)	65,3 ± 16,18 (41–97)	57,13 ± 17,262 (41–93)	59,29 ± 14,85 (36–84)
Пиковая скорость, см/сек M ± SD (min–max)		443,2 ± 49,42 (326–510)	515,9–67,76 (400–632)	471,1 ± 119,43 (172–607)	485,8 ± 47 (403–577)
Масса миокарда, г M ± SD (min–max)		216,699 ± 38,57 (154,2–273)	217,587 ± 72,21 (129,36–344,4)	306,18 ± 104,71 (171,7–500,7)	268,165 ± 68,81 (137,7–383)
Индекс массы миокарда, г/м ² M ± SD (min–max)		125,9 ± 30,501 (82–177)	118,2 ± 43,61 (76–210)	160,261 ± 48,491 (89–234)	145,2 ± 35,857 (81–213)
Толщина МЖП, см M ± SD (min–max)		1,496 ± 0,264 (1,1–1,8)	1,63 ± 0,267 (1,2–2,0)	1,403 ± 0,406 (0,9–2,0)	1,356 ± 0,218 (1,0–1,6)
Толщина ЗСЛЖ, см M ± SD (min–max)		1,152 ± 0,136 (0,9–1,3)	1,1 ± 0,125 (0,9–1,3)	1,19 ± 0,292 (0,7–1,5)	1,192 ± 0,171 (0,9–1,5)

Сравнительная характеристика больных представлена в Табл. 1 (до операции) и Табл. 2 (после операции)

Регрессия массы ЛЖ была изучена у всех пациентов в исследуемой когорте (Таблицы 1, 2 и 3).

В подгруппе Котаров масса миокарда ЛЖ к моменту выписки из стационара снизилась с 216,69 ± 38,57 до 197,42 ± 40,98 г (p = 0,057), а индексированная масса миокарда ЛЖ — с 125,9 ± 30,50 до 109,1 ± 20,14 г/м² (p = 0,032). Уменьшение толщины стенок ЛЖ в ран-

Сравнительная характеристика пациентов после операции

Параметр (ПОСЛЕ)	Группа AVNeo (n=30)		Группа «Протез» (n=30)	
	Подгруппа 1 (Komarov) (n = 15)	Подгруппа 2 (Ozaki) (n = 15)	Подгруппа 3 (Биологический) (n = 15)	Подгруппа 4 (Механический) (n = 15)
ФВ ЛЖ, % M ± SD (min–max)	64,4 ± 3,8 (55–68)	61,3 ± 6,43 (52–72)	60 ± 8,6 (45–73)	64,5 ± 9,2 (42–75)
КДО ЛЖ, мл M ± SD (min–max)	74,8 ± 18,18 (43–100)	70,4 ± 16,27 (50–96)	92,5 ± 32 (40–161)	83,2 ± 25,6 (40–119)
КСО ЛЖ, мл M ± SD (min–max)	28,2 ± 9,2 (14–43)	25 ± 5,7 (15–33)	38,9 ± 19,5 (11–79)	29,7 ± 11 (10–44)
Площадь АК, см ² M ± SD (min–max)	2,54 ± 0,26 (1,9–2,8)	2,5 ± 0,24 (2,0–2,9)	2,06 ± 0,41 (1,4–2,64)	1,82 ± 0,52 (1,04–2,43)
Индексированная площадь АК, см ² , M ± SD	1,38 ± 0,14	1,33 ± 0,13	1,2 ± 0,22	0,95 ± 0,27
Пиковый градиент, мм рт. ст. M ± SD (min–max)	21,63 ± 8,559 (11–38)	19,9 ± 7,445 (10–36)	27,42 ± 12,93 (10–52)	32,54 ± 9,136 (16,2–45,6)
Средний градиент, мм рт. ст. M ± SD (min–max)	11,79 ± 6,006 (4,2–20,5)	10,68 ± 3,886 (7–19)	13,21 ± 6,179 (5–25)	16,29 ± 4,669 (8,9–22,7)
Пиковая скорость, см/сек M ± SD (min–max)	233,1 ± 69,04 (135–321)	199,4 ± 66,3 (65–297)	249,8 ± 67,6 (160–376)	275,5 ± 44,4 (201–338)
Масса миокарда, г M ± SD (min–max)	197,423 ± 40,98 (148,33–275,1)	180,12 ± 34,863 (130,6–255,85)	257,197 ± 80,676 (154,4–417,3)	215,35 ± 56,171 (117,3–272,2)
Индекс массы миокарда, г/м ² M ± SD (min–max)	109,1 ± 20,141 (83–141)	102,9 ± 30,083 (71–119)	134,84 ± 37,76 (80–195)	117,33 ± 31,888 (69–166)
Толщина МЖП, см M ± SD (min–max)	1,36 ± 0,267 (1,0–1,7)	1,5 ± 0,216 (1,1–1,8)	1,283 ± 0,255 (0,9–1,7)	1,267 ± 0,258 (1–1,7)
Толщина ЗСЛЖ, см M ± SD (min–max)	1,12 ± 0,103 (1,0–1,3)	1,06 ± 0,084 (0,9–1,2)	1,1 ± 0,191 (0,7–1,3)	1,1 ± 0,219 (0,9–1,5)

нем послеоперационном периоде составило: межжелудочковая перегородка (МЖП) от 1,496 ± 0,264 до 1,360 ± 0,267 см (p = 0) и задняя стенка ЛЖ — от 1,152 ± 0,136 до 1,1 ± 0,082 см (p = 0,082).

В подгруппе Ozaki масса миокарда ЛЖ снизилась с 217,59 ± 72,22 до 180,13 ± 34,86 г (p = 0,075), а индексированная масса миокарда ЛЖ — с 118,2 ± 43,6 до 102,9 ± 30,1 г/м² (p = 0,08). Уменьшение толщины стенок ЛЖ составило: МЖП от 1,63 ± 0,267 до 1,5 ± 0,216 см (p = 0,002) и задняя стенка ЛЖ — от 1,1 ± 0,125 до 1,06 ± 0,084 см (p = 0,037).

В подгруппе «Биологический протез» масса миокарда ЛЖ снизилась с 294,89 ± 110,112 до 257,197 ± 80,676 г (p = 0,096), а индексированная масса миокарда ЛЖ — с 154,119 ± 51,12 до 134,84 ± 37,76 г/м² (p = 0,093). Уменьшение толщины стенок ЛЖ составило: МЖП от 1,366 ± 0,378 до 1,283 ± 0,255 см (p = 0,4) и задняя стенка ЛЖ — от 1,176 ± 0,27 до 1,1 ± 0,19 см (p = 0,346).

В подгруппе «Механический протез» масса миокарда ЛЖ снизилась с 246,57 ± 60,49 до 215,35 ± 56,17 г (p = 0,118), а индексированная масса миокарда ЛЖ — с 133,83 ± 30,97 до 117,33 ± 31,87 г/м² (p = 0,131). Уменьшение толщины стенок ЛЖ составило: МЖП от 1,3 ± 0,237 до 1,267 ± 0,258 см (p = 0,638) и задняя стенка ЛЖ — от 1,14 ± 0,16 до 1,1 ± 0,22 см (p = 0,774).

Более подробно послеоперационные данные указаны в Табл. 2 и на Рис. 1.

В нашем исследовании мы имели возможность наблюдать снижение массы миокарда ЛЖ уже начиная с первых недель после операции, также отмечалось существенное, почти симметричное, уменьшение толщины стенок и индексированной массы миокарда ЛЖ. Можно отметить, что после аутоперикардальной неокспидизации (AVNeo) и протезирования АК биологическим клапаном имеется больший регресс массы миокарда по сравнению с механическими протезами. Однако у одного пациента из 3 группы (Биологический протез)

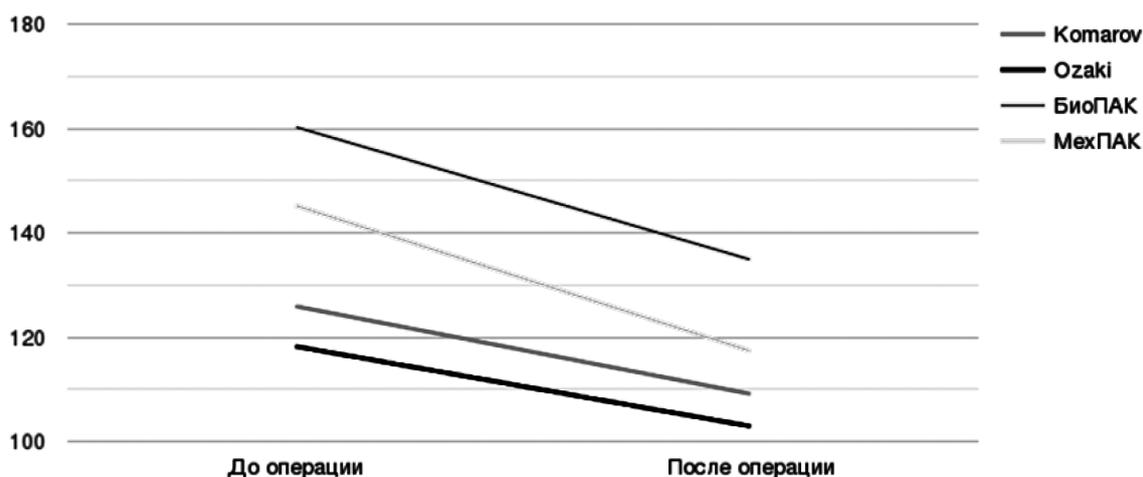


Рис. 1. Отражение изменения индекса массы миокарда ЛЖ у пациентов разных подгрупп до и после операции

и одного пациента из 4 группы (Механический протез) стала нарастать гипертрофия миокарда ЛЖ. Это связано с субоптимальными гемодинамическими показателями протезов. У всех больных после аутоперикардиальной неокуспидизации (AVNeo) отмечается быстрый и значительный регресс гипертрофии миокарда, что связано с отличными гемодинамическими показателями. Несмотря на то, что не по всем параметрам удалось выявить значимые изменения, в абсолютных числах можно заметить отчётливую тенденцию в сторону ремоделирования.

Таблица 3.

Сравнение индекса массы миокарда ЛЖ у пациентов разных подгрупп до и после операции

Подгруппа	Индекс массы миокарда до операции, г/м ² M ± SD (min–max)	Индекс массы миокарда после операции, г/м ² M ± SD (min–max)	p
Подгруппа 1 (Комаров) (n = 15)	125,9 ± 30,501 (82–177)	109,1 ± 20,141 (83–141)	0,032
Подгруппа 2 (Ozaki) (n = 15)	118,2 ± 43,61 (76–210)	102,9 ± 30,083 (71–119)	0,08
Подгруппа 3 (Биологический) (n = 15)	160,261 ± 48,491 (89–234)	134,84 ± 37,76 (80–195)	0,093
Подгруппа 4 (Механический) (n = 15)	145,2 ± 35,85 (81–213)	117,33 ± 31,88 (69–166)	0,131

Обсуждение

Коррекция порока аортального клапана позволяет увеличить отдалённую выживаемость и улучшить качество жизни пациентов. После коррекции порока наступает ремоделирование миокарда ЛЖ, но масса ЛЖ

не всегда возвращается к показателям здорового сердца²⁸. Время, за которое происходит ремоделирование миокарда, является весьма дискуссионным вопросом и по данным мировой литературы варьируется от 6 недель²⁹ до 1 года^{30,31}. Самый ранний срок начала ремоделирования миокарда ЛЖ и его эффективность при различных типах коррекции порока стали предметом изучения в данном исследовании.

Нами было проанализировано 60 пациентов (30 пациентам была выполнена неокуспидизация аортального клапана, 15 — имплантация биологического и 15 — имплантация механического протеза), у которых по данным ТТ ЭХО КГ оценивались параметры левого желудочка до операции и непосредственно перед выпиской (14 дней).

Гипертрофия характеризуется концентрическим увеличением массы миокарда для сохранения нормального соотношения между систолическим напряжением стенок желудочка и фракцией выброса³². Ремоделирование миокарда и регрессия массы миокарда ЛЖ являются важными конечными точками. Однако, все каркасные клапаны относительно «стенотичны», поскольку каркас уменьшает эффективную площадь отверстия. После коррекции порока аортального клапана именно каркасным протезом наблюдаются повышенные трансклапанные градиенты, из-за чего гипертрофия ЛЖ полностью не исчезает. Ученые в исследовании MESA доказали, что у пациентов с умеренной гипертрофией риск смерти от любой кардиальной причины выше даже после поправки на возраст, пол, наличие ИБС и ГБ³³. Долгосрочные последствия остаточной гипертрофии ещё изучаются и являются весьма обсуждаемым вопросом в медицинской среде. ХСН, аритмия и внезапная остановка сердца — ведущие осложнения после протезирования аортального клапана, на которые влияет гипертрофия ЛЖ³⁴. Несмотря на свою недооценённость, зачастую именно этот фактор является одним из определяющих долгосрочный исход.

Измерение массы миокарда ЛЖ с помощью ТТ ЭХО КГ является неинвазивным и воспроизводимым методом, а данные, полученные в М-режиме, коррелируют с контрастной вентрикографией³⁵.

Было обнаружено, что степень гипертрофии ЛЖ отражает тяжесть аортального стеноза и прямо коррелирует с пиковым градиентом на клапане; следовательно данный параметр используется рядом авторов в качестве подтверждения, по крайней мере, частичной регрессии массы миокарда ЛЖ после коррекции порока аортального клапана. Обратимся к наиболее ранним работам по данной теме. Kurnik и соавторы, опираясь на данные КТ, сообщили о 27 % регрессии массы миокарда ЛЖ через 4 месяца и 36 % регрессии через 8 месяцев после коррекции порока аортального клапана³⁶. Henry и соавторы сообщили, что основная регрессия произошла на 16 % в течение 6 месяцев без каких-либо значимых изменений в течение года³⁷. Но также крайне важно и то, что по данным этих исследований большая часть регрессии массы миокарда произошла в первый месяц после коррекции порока аортального клапана, что схоже с нашими данными. Однако несмотря на полную коррекцию порока не всегда масса миокарда возвращается к нормальным показателям. Так, Monrad и соавторы продемонстрировали, что масса миокарда ЛЖ изменилась с 158 ± 33 г/м² до операции до 114 ± 27 г/м² через 18 ± 6 месяцев после операции, по сравнению с 85 ± 9 г/м² у контрольных пациентов³⁸. Регрессия массы миокарда ЛЖ зависит от нескольких факторов, таких как сохраняющийся коллагеновый фиброз миокарда, возраст, пол, наличие у пациента ИБС, СД и ХСН.

Что касается аортальной недостаточности, то Venco и соавторы по результатам своих исследований отметили уменьшение КДР с $7,0 \pm 0,8$ см до $5,7 \pm 1,0$ см в течение 2 дней после операции³⁹. Collinson J и соавторы выполнили сравнение ремоделирования миокарда после имплантации каркасных и бескаркасных биологических протезов: так, в группе бескаркасных протезов произошло изменение КДР с $7,5 \pm 1,0$ см до $5,2 \pm 1,0$ см ($p < 0.001$), а КСР с $5,4 \pm 1,0$ см до $3,6 \pm 0,8$ см ($p < 0.001$)³⁰. Обращает на себя внимание отсутствие значимых изменений в группе каркасных протезов за период пребывания в стационаре, однако, со слов авторов, изменение размеров произошло значительно позже. Что касается массы миокарда, то в группе бескаркасных протезов произошло снижение с 366 ± 104 г до 219 ± 79 г, а в группе каркасных протезов с 349 ± 51 до 265 ± 61 г. Авторы пришли к выводу, что у пациентов с аортальной недоста-

точностью и изначальной дисфункцией ЛЖ имплантация бескаркасных протезов обеспечивает раннее уменьшение размеров полости ЛЖ, а также скорое улучшение функции и регрессию массы миокарда ЛЖ. Также следует отметить, что коррекция порока позволяет улучшить функцию ЛЖ за счёт увеличения ФВ, особенно у пациентов с СНсФВ⁴⁰. Gupta и соавторы проанализировали 113 пациентов с аортальной недостаточностью, разделённых на 2 группы по показателю ФВ⁴¹. Отмечалось нормализация функции, а также изменение размеров полостей и толщина стенок ЛЖ и в обеих группах. Bruno и соавторы, проанализировав 119 пациентов с аортальной недостаточностью и разной степенью сердечной недостаточности, обратили внимание, что в течение 21 месяца было выявлено статистически значимое обратное ремоделирование левого желудочка и улучшение ФВ в группе с низкой ФВ, а долгосрочная послеоперационная выживаемость (за 10 летний период наблюдения) не зависела от исходной ФВ⁴². Данное исследование показало, что методика неокуспидизации перикардом демонстрирует схожие с бескаркасными биологическими протезами результаты, что позволяет обеспечить высокую ЭПО и низкие трансклапанные градиенты, что в свою очередь влияет на адекватную функцию ЛЖ, быстро и стойкое ремоделирование миокарда. А короткий период наблюдения, равный времени пребывания в стационаре, подтвердил данные Kurnik³⁶ и Henry³⁷, что значимое ремоделирование происходит в первый месяц после операции. Однако требуются дальнейшие исследования для оценки влияния протезирования аортального клапана аутоперикардом на функцию ЛЖ, а также данные от других центров с аналогичным дизайном исследования.

Заключение

Протезирование аортального клапана аутологичным перикардом обеспечивает гемодинамический профиль нативного клапана с высокой ЭПО и низкими трансклапанными градиентами. Данное исследование подтверждает, что данный метод коррекции порока может быть безопасно применён у пациентов любого риска, а потенциальное преимущество в виде быстрого ремоделирования позволяет рассмотреть данный метод лечения у пациентов с ХСН, выраженной гипертрофией и сниженной фракцией выброса.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

ЛИТЕРАТУРА

1. Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al. 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2013;128(16). doi:10.1161/CIR.0b013e31829e8776
2. Carabello BA. The Pathophysiology of Afterload Mismatch and Ventricular Hypertrophy. *Structural Heart*. 2021;5(5):446–456. doi:10.1080/24748706.2021.1944708
3. Koga-Ikuta A, Fukushima S, Kawamoto N, et al. Reverse remodelling after aortic valve replacement for chronic aortic regurgitation. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*. 2021;33(1):10–18. doi:10.1093/icvts/ivab046
4. Del Bene MR, Barletta G, Venditti F, Di Mario C, Blanzola C, Stefano P. Left ventricular mass regression after aortic valve replacement: Sex differences or effect of different methods of indexation? *Echocardiography*. 2019;36(2):219–228. doi:10.1111/echo.14221
5. Izumi C, Kitai T, Kume T, et al. Effect of Left Ventricular Reverse Remodeling on Long-term Outcomes After Aortic Valve Replacement. *The American Journal of Cardiology*. 2019;124(1):105–112. doi:10.1016/j.amjcard.2019.04.010
6. Hultkvist H, Nylander E, Tamás É, et al. Evaluation of left ventricular diastolic function in patients operated for aortic stenosis. Lionetti V, ed. *PLoS ONE*. 2022;17(2):e0263824. doi:10.1371/journal.pone.0263824
7. Zaid RR, Barker CM, Little SH, Nagueh SF. Pre- and Post-Operative Diastolic Dysfunction in Patients With Valvular Heart Disease. *Journal of the American College of Cardiology*. 2013;62(21):1922–1930. doi:10.1016/j.jacc.2013.08.1619
8. Iliuță L, Andronesi AG, Scafa-Udriște A, et al. Incidence and Risk Factors for Long-Term Persistence of Diastolic Dysfunction after Aortic Valve Replacement for Aortic Stenosis Compared with Aortic Regurgitation. *JCDD*. 2023;10(3):131. doi:10.3390/jcdd10030131
9. Martin TG, Juarros MA, Leinwand LA. Regression of cardiac hypertrophy in health and disease: mechanisms and therapeutic potential. *Nat Rev Cardiol*. Published online January 4, 2023. doi:10.1038/s41569-022-00806-6
10. Chen JS, Huang JH, Chiu KM, Chiang CY. Extent of Left Ventricular Mass Regression and Impact of Global Left Ventricular Afterload on Cardiac Events and Mortality after Aortic Valve Replacement. *JCM*. 2022;11(24):7482. doi:10.3390/jcm11247482
11. Villa E, Troise G, Cirillo M, et al. Factors affecting left ventricular remodeling after valve replacement for aortic stenosis. An overview. *Cardiovasc Ultrasound*. 2006;4(1):25. doi:10.1186/1476-7120-4-25
12. Oh JK, Lee SH, Lee SA, et al. Prognostic impact of left ventricular mass regression after transcatheter aortic valve replacement in patients with left ventricular hypertrophy. *International Journal of Cardiology*. 2021;332:60–66. doi:10.1016/j.ijcard.2021.03.053
13. Iqbal A, Panicker VT, Karunakaran J. Patient prosthesis mismatch and its impact on left ventricular regression following aortic valve replacement in aortic stenosis patients. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg*. 2019;35(1):6–14. doi:10.1007/s12055-018-0706-3
14. Alassar MA, Ibrahim BM, Elsadek N. Impact of aortic prosthesis-patient mismatch on left ventricular mass regression. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2014;22(5):546–550. doi:10.1177/0218492313500499
15. Treibel TA, Kozor R, Schofield R, et al. Reverse Myocardial Remodeling Following Valve Replacement in Patients With Aortic Stenosis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018;71(8):860–871. doi:10.1016/j.jacc.2017.12.035
16. Stefanelli G, Pirro F, Longo M, Bellisario A, Weltert L. Intermediate-Term Outcomes After Aortic Valve Replacement With the Medtronic 3F Stentless Prosthesis. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2021;111(6):1975–1982. doi:10.1016/j.athoracsur.2020.07.053
17. Del Rizzo DF, Abdoh A, Cartier P, Doty D, Westaby S. Factors affecting left ventricular mass regression after aortic valve replacement with stentless valves. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 1999;11(4 Suppl 1):114–120.
18. Lim E, Ali A, Theodorou P, et al. Longitudinal Study of the Profile and Predictors of Left Ventricular Mass Regression After Stentless Aortic Valve Replacement. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2008;85(6):2026–2029. doi:10.1016/j.athoracsur.2008.02.023
19. Fouquet O, Baufreron C, Tassin A, et al. Influence of stentless versus stented valves on ventricular remodeling assessed at 6 months by magnetic resonance imaging and long-term follow-up. *Journal of Cardiology*. 2017;69(1):264–271. doi:10.1016/j.jjcc.2016.04.016
20. Pibarot P, Dumesnil JG, Leblanc MH, Cartier P, Métras J. Changes in Left Ventricular Mass and Function After Aortic Valve Replacement: A Comparison Between Stentless and Stented Bioprosthetic Valves. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 1999;12(11):981–987. doi:10.1016/S0894-7317(99)70152-5
21. Lange T, Backhaus SJ, Beuthner BE, et al. Functional and structural reverse myocardial remodeling following transcatheter aortic valve replacement: a prospective cardiovascular magnetic resonance study. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2022;24(1):45. doi:10.1186/s12968-022-00874-0
22. Zakkar M, Alassar A, Lopez-Perez M, et al. Left Ventricular Remodeling after Transcatheter Aortic Valve Implantation: One-Year Follow-up Study. *Innovations (Phila)*. 2015;10(1):44–47. doi:10.1097/imi.000000000000122
23. Yamamoto N, Ito H, Inoue K, et al. Impact of valvuloarterial impedance on left ventricular reverse remodeling after aortic valve neocuspidization. *J Cardiothorac Surg*. 2022;17(1):13. doi:10.1186/s13019-022-01760-7
24. Koehlin L, Eckstein FS. Aortic Valve Neocuspidization Using Autologous Pericardium (Ozaki Procedure): an Alternative to Aortic Valve Replacement in Adult Cardiac Surgery? *Curr Anesthesiol Rep*. 2021;11(3):318–325. doi:10.1007/s40140-021-00454-5
25. Dzhioeva ON, Maksimova OA, Rogozhkina EA, Drapkina OM. Aspects of transthoracic echocardiography protocol in obese patients. *Russ J Cardiol*. 2023;27(12):5243. doi:10.15829/1560-4071-2022-5243
26. Park SH, Shub C, Nobrega TP, Bailey KR, Seward JB. Two-dimensional echocardiographic calculation of left ventricular mass as recommended by the American Society of Echocardiography: Correlation with autopsy and M-mode echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 1996;9(2):119–128. doi:10.1016/S0894-7317(96)90019-X
27. Komarov RN, Chernyavskii SV, Ismailbaev AM, Simonyan AO. How to do it: autopericardial neocuspidisation of the aortic valve. *PKiK*. 2021;25(1):120. doi:10.21688/1681-3472-2021-1-120-127

28. Vollema EM, Singh GK, Prihadi EA, et al. Time course of left ventricular remodelling and mechanics after aortic valve surgery: aortic stenosis vs. aortic regurgitation. *European Heart Journal — Cardiovascular Imaging*. 2019;20(10):1105-1111. doi:10.1093/ehjci/jez049
29. Djavidani B, Schmid F, Keyser A, et al. Early Regression of Left Ventricular Hypertrophy After Aortic Valve Replacement by the Ross Procedure Detected by Cine MRI. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2004;6(1):1–8. doi:10.1081/JCMR-120027799
30. Collinson J, Flather M, Pepper JR, Henein M. Effects of valve replacement on left ventricular function in patients with aortic regurgitation and severe ventricular disease. *J Heart Valve Dis*. 2004;13(5):722–728.
31. Kuzmina OK, Rutkovskaya NV. MYOCARDIUM REMODELING IN THE HEART VALVES DISORDERS. *SMR*. 2017;(2):5–14. doi:10.20333/2500136-2017-2-5-14
32. Biederman RW, Magovern JA, Grant SB, et al. LV reverse remodeling imparted by aortic valve replacement for severe aortic stenosis; is it durable? A cardiovascular MRI study sponsored by the American Heart Association. *J Cardiothorac Surg*. 2011;6(1):53. doi:10.1186/1749-8090-6-53
33. Bluemke DA, Kronmal RA, Lima JAC, et al. The Relationship of Left Ventricular Mass and Geometry to Incident Cardiovascular Events. *Journal of the American College of Cardiology*. 2008;52(25):2148–2155. doi:10.1016/j.jacc.2008.09.014
34. Fukunaga N, Okita Y, Yaku H, et al. Hemodynamic Performance and Outcomes of Mosaic Valve for Aortic Stenosis with Decreased Left Ventricular Function: Results from J-MOVE Study. *ASAIO Journal*. 2020;66(5):532–538. doi:10.1097/MAT.0000000000001040
35. Celebi AS, Yalcin H, Yalcin F. Current cardiac imaging techniques for detection of left ventricular mass. *Cardiovasc Ultrasound*. 2010;8(1):19. doi:10.1186/1476-7120-8-19
36. Kurnik PB, Innerfield M, Wachspress JD, Eldredge WJ, Waxman HL. Left ventricular mass regression after aortic valve replacement measured by ultrafast computed tomography. *American Heart Journal*. 1990;120(4):919–927. doi:10.1016/0002-8703(90)90211-F
37. Henry WL, Bonow RO, Borer JS, et al. Evaluation of aortic valve replacement in patients with valvular aortic stenosis. *Circulation*. 1980;61(4):814–825. doi:10.1161/01.CIR.61.4.814
38. Monrad ES, Hess OM, Murakami T, Nonogi H, Corin WJ, Kraysenbuehl HP. Time course of regression of left ventricular hypertrophy after aortic valve replacement. *Circulation*. 1988;77(6):1345–1355. doi:10.1161/01.CIR.77.6.1345
39. Venco A, St John Sutton MG, Gibson DG, Brown DJ. Non-invasive assessment of left ventricular function after correction of severe aortic regurgitation. *Heart*. 1976;38(12):1324–1331. doi:10.1136/hrt.38.12.1324
40. Aimo A, Gaggin HK, Barison A, Emdin M, Januzzi JL. Imaging, Biomarker, and Clinical Predictors of Cardiac Remodeling in Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *JACC: Heart Failure*. 2019;7(9):782–794. doi:10.1016/j.jchf.2019.06.004
41. Gunay D, Ozen Y, Cekmecelioglu D, et al. Effect of ejection fraction on left ventricular remodeling in aortic insufficiency. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2016;24(4):332–336. doi:10.1177/0218492316641287
42. Bruno P, Cammertoni F, Rosenhek R, et al. Outcomes of Surgery for Severe Aortic Regurgitation with Systolic Left Ventricular Dysfunction. *J Heart Valve Dis*. 2017;26(4):372–379.

© Комаров Роман Николаевич; Ткачѐв Максим Игоревич (tkachev.cardiovascular@gmail.com); Савина Виктория Александровна;
Башмаков Никита Сергеевич

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СТОМАТОЛОГИЯ: ОШИБКИ И ОСЛОЖНЕНИЯ В ЭНДОДОНТИИ

DENTISTRY: ERRORS
AND COMPLICATIONS IN ENDODONTICS

A. Reutov
E. Skvortsova
A. Efremova
K. Frolova
E. Konovalova

Summary. 40 sources of domestic and foreign literature were analyzed, starting from 2010 to 2022, containing information about the quality, possible errors and complications of endodontic treatment. A systematic literature search was performed using the PubMed and HAC databases. The purpose of this study was to identify the causes of failures occurring at various stages of endodontic treatment. As a result of the analysis of the literature, it was established that the complications were related to the structural features of the teeth, namely, the anatomical irregularity in the shape and volume of the root canals, their curvature and the presence of hard-to-reach branches in the form of auxiliary canals. In addition, incorrect interpretation of X-ray examination, violations of instrumental, drug treatment of root canals, as well as their poor-quality filling can lead to errors and complications. Thus, our analysis of the literature suggests that the problem of high-quality endodontic treatment is far from being solved. That is why it is still relevant and promising to study errors and complications that occur at various stages of endodontic treatment, as well as measures to prevent them.

Keywords: dentistry, endodontics, root canals, complications.

Введение

В настоящее время в клинической эндодонтии появилось не только большое количество новых инструментов, материалов для обработки и пломбирования корневых каналов, но и изменились сами подходы к лечению. Однако, частота ошибок и осложнений эндодонтического лечения остается на высоком уровне. Так по данным Европейской ассоциации эндодонтологии, частота успеха первичного эндодонтического лечения составляет 80 %, по данным Американской эндодонтической ассоциации — от 53 до 80 %, а иногда может

Реутов Артём Сергеевич
 ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
 DeadJackArt@gmail.com
Скворцова Елена Николаевна
 Ассистент, ФГБОУ ВО
 «Пензенский государственный университет»
 len.skvortzova2014@yandex.ru
Ефремова Анастасия Владимировна
 Старший преподаватель, ФГБОУ ВО
 «Пензенский государственный университет»
 nastasya.efremova.87@list.ru
Фролова Кристина Евгеньевна
 Старший преподаватель, ФГБОУ ВО
 «Пензенский государственный университет»
 kristina.frolova.1983@mail.ru
Коновалова Екатерина Валерьевна
 старший преподаватель, ФГБОУ ВО
 «Пензенский государственный университет»
 udaltsovakaterina@mail.ru

Аннотация. Были проанализированы 40 источников отечественной и зарубежной литературы, начиная с 2010 по 2022 год, содержащие сведения о качестве, возможных ошибках и осложнениях эндодонтического лечения. Систематический поиск литературы был выполнен с использованием баз данных PubMed и ВАК. Цель данного исследования состояла в выявлении причин неудач, возникающих на различных этапах эндодонтического лечения. В результате проведенного анализа литературы была установлена, связь осложнений с особенностями строения зубов, а именно с анатомической неравномерностью формы и объема корневых каналов, их кривизной и наличию труднодоступных латеральных каналов. Кроме того, к ошибкам и осложнениям могут привести неправильная интерпретация рентгенологического исследования, нарушения инструментальной, медикаментозной обработок корневых каналов, а также их некачественное пломбирование. Таким образом, проведенный нами анализ литературы, говорит о том, что проблема качественного эндодонтического лечения далека от решения. Именно поэтому, по-прежнему актуальными и перспективным является изучение ошибок и осложнений, возникающих на различных этапах эндодонтического лечения, а также мер их профилактики.

Ключевые слова: стоматология, эндодонтия, корневые каналы, осложнения.

достигать и 95 %. Согласно российским исследованиям, данные показатели составляют 29 % [1, 2, 3].

Среди ошибок эндодонтического лечения, можно выделить ошибки, связанные с этапом инструментальной обработки корневых каналов, такие как чрезмерное расширение корневого канала и вертикальная фрактура корня. Не мало ошибок возникает и на этапе пломбирования корневых каналов, по типу выхода пломбировочного материала за пределы апекса корня. В отдельную группу можно выделить ошибки, возникающие на этапе ирригации корневого канала.

Авторами установлено, что ирригационные растворы выполняют основную часть очистки и дезинфекции системы корневых каналов, в то время как инструментарий в первую очередь является средством для получения непосредственно доступа к самой системе корневых каналов и апикальной части, поскольку инструменты не могут достичь мельчайших ответвлений. Считается, что анатомические сложности и присутствие бактерий в виде прикрепления к поверхности биоплёнки являются главными проблемами при ирригации [4, 5].

В связи с тем, что биопленка представляет собой высокоорганизованную структуру, состоящую из бактерий, заключенных во внеклеточный полимерный матрикс, прикрепленный к поверхности и точный ее состав зависит от доступных микроорганизмов и питательных веществ, а организмы в биопленках демонстрируют измененный фенотип в отношении скорости роста и транскрипции генов, то достаточно сложно подобрать эффективный ирригант, способный воздействовать и полностью уничтожить данную высокоорганизованную структуру [6, 7].

Дополнительная проблема возникает из-за сложной анатомии системы корневых каналов. Помимо основного корневого канала, биопленка может также располагаться в концевых отделах, отходящих латерально от основного канала, перешейках, соединяющих соседние корневые каналы одного и того же корня, дополнительных каналах и апикальных разветвлениях. В этих областях также могут накапливаться остатки дентина, образовавшиеся во время инструментальной обработки, и считается, что они действуют как защитная изоляция для нижележащей биоплёнки. Кроме того, бактерии могут проникать в открытые дентинные каналы, которые в основном расположены в средней трети системы корневых каналов [8, 9, 10].

Микроорганизмы, избегающие воздействия ирригантов, считаются основной причиной осложнений как после первичного лечения, так и после повторного эндодонтического лечения. Анатомия системы корневых каналов создает ряд физических препятствий для ирригантов. Основной и латеральный корневой канал, включая дентинные каналы, представляют собой полости с закрытыми концами, поэтому проникновение ирриганта по своей природе затруднено. Очевидно, что даже самый сильный ирригант не будет эффективен, если он не сможет достичь своих целей внутри системы корневых каналов в достаточном количестве [11, 12, 13].

На сегодняшний день, гипохлорит натрия (NaOCl) является самым популярным ирригантом для корневых каналов из-за его исключительного антимикробного действия, особенно против бактерий, организованных в биопленку и его уникальной способности растворять компоненты биопленки и остатки пульпы [14, 15, 16].

Более того, он может снижать факторы бактериальной вирулентности, такие как эндотоксины и липотейхоевые кислоты, а также служить эффективной смазкой для инструментов [17, 18, 19].

Однако NaOCl неэффективен при удалении неорганического компонента смазанного слоя и скопившихся остатков твердых тканей, образовавшихся во время препарирования. Поэтому NaOCl обычно необходимо использовать последовательно с хелатором (этилендиаминтетрауксусной кислотой, ЭДТА) [20, 21].

Но стоит помнить, что NaOCl реагирует с коллагеном в дентинной матрице, особенно после предварительного воздействия хелатирующего агента, и это может изменить модуль упругости, прочность на растяжение и изгиб, а также микротвердость дентина. Также NaOCl является едким веществом, и его непреднамеренная экструзия в направлении периапикальных тканей может привести к гипохлоритной аварии. При этом установлено, что несчастные случаи могут произойти даже при использовании 1 % раствора [22, 23].

Учитывая быстрое потребление свободно-доступного хлора в химических реакциях с биопленкой, дентином, тканью пульпы и другими ирригантами, обычно рекомендуется частая замена свежим ирригационным раствором в период химической обработки корневого канала [26, 27].

При этом даже если растворы обновлять чаще, явления, обусловленные градиентами концентрации, такими как диффузия молекул и ионов в системе корневых каналов через биопленку, будут снижать антибактериальные свойства раствора. Увеличение времени воздействия NaOCl на биопленку, облегчает ее удаление [28, 29, 30].

Широко распространен и хлоргексидина глюконат, который представляет собой катионный бисбигуанид. Данный раствор в основном используется в качестве окончательного ирриганта, по причине отсутствия какого-либо свойства растворять органические ткани [31, 32].

Самым чувствительным микроорганизмом к нему является *Enterococcus faecalis*, но он является не самым распространенным в случаях лечения корневых каналов, а если и обнаруживается, то вряд ли когда-либо входит в число наиболее распространенных видов [33, 34].

Таким образом, роль хлоргексидина, как неэффективного средства для ирригации корневых каналов, широко оспаривается. [35].

Одним из основных аргументов в пользу хлоргексидина является его способность связываться с дентином и оказывать пролонгированное противомикробное дей-

ствии, что может предотвращать реколонизацию бактериями после лечения корневых каналов [36, 37, 38].

Таким образом правильный подбор и метод использования ирриганта определяет качественное устранение инфекционного агента из корневого канала, а также предупреждает более крупные осложнения.

Стоит отметить ошибки эндодонтического лечения, возникающие на этапе высушивания корневого канала. Использование струи воздуха из пюстера является одним из способов высушивания корневого канала, однако не самым безопасным. Подаваемый воздух из пюстера под давлением через корневой канал может миновать апикальное отверстие, проходить в глубь мягких тканей, накапливаться и вести к такому осложнению как эмфизема. Как правило, для подобного осложнения в стоматологии, достаточно воздействия в 1,3–1,7 атмосфер. Области лица и особенно подглазничные области обладают богатым содержанием рыхлой соединительной ткани, что делает их межмышечное пространство потенциальным местом образования эмфиземы. Большинство пациентов, у которых после стоматологических процедур развивается подкожная эмфизема, отмечают лишь умеренные локальные отеки. Эмфизема, вызванная лечением корневых каналов, проходит через несколько дней, профилактическое введение антибиотиков и анальгетиков может предотвратить осложнения, поскольку распространение микроорганизмов ротовой полости по эмфизематозным путям может быть причиной инфекций мягких тканей (например, глубокой инфекции шеи и медиастинита). Высушивание любого корневого канала под давлением является рискованным, особенно если апекс имеет размер 25 или больше [39, 40].

Вывод

Таким образом, большинство клиницистов сходятся во мнении, что одним из самых сложных видов лечения является эндодонтическое. Таким его делают анатомическая неравномерность формы и объема корневых каналов, их кривизна и наличие труднодоступных ответвлений в виде латеральных каналов. Однако это те па-

раметры, на которые невозможно повлиять изначально и успешность проведения первичного эндодонтического лечения зависит, в свою очередь, от верно подобранных инструментов, препаратов и тактик на различных этапах эндодонтического лечения.

Во избежание осложнений и увеличении вероятности успеха в первичном эндодонтическом лечении при выборе препаратов для ирригации корневых каналов следует опираться в первую очередь на их механизм действия. Особое внимание следует уделять этапу высушивания корневых каналов в связи с тем, что нарушение методики высушивания может не только привести к развитию осложнений после эндодонтического лечения, но и повлечь за собой гораздо более серьезные осложнения угрожающие жизни пациента.

Подводя итоги, можно сказать, что проблема ошибок и осложнений на различных этапах эндодонтического лечения существует очень давно. Успех эндодонтического лечения обеспечивают три составляющие: качественно проведенная очистка, медикаментозная обработка и obturation системы корневых каналов. В настоящее время современная эндодонтия значительно пополнилась новыми инструментами, материалами и методами лечения. Однако, на каждом этапе эндодонтического лечения процент ошибок достаточно высок, что делает дальнейшие исследования в данной области перспективными.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

Финансирование: авторы заявляют о финансировании проведенного исследования из собственных средств

Участие авторов:

Концепция и дизайн обзора — РАС, КЕВ,
Сбор и обработка материала — РАС, ЕАВ,
Написание текста — РАС, ЕАВ, ФКЕ, КЕВ, СЕН,
Редактирование — ЕАВ, РАС, КЕВ, ФКЕ

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердиева Р.Р., Мамытова А.Б. Анализ ошибок первичного эндодонтического лечения зубов с хроническим периодонтитом // МНИЖ. 2020. №1-1 (91). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-oshibok-pervichnogo-endodonticheskogo-lecheniya-zubov-s-hronicheskim-periodontitom> (дата обращения: 28.06.2023). [Berdieva R.R., Mamytova A.B. Analysis of errors in primary endodontic treatment of teeth with chronic periodontitis // MNIZH. 2020. No. 1-1 (91). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-oshibok-pervichnogo-endodonticheskogo-lecheniya-zubov-s-hronicheskim-periodontitom> (date of access: 06/28/2023).]
2. Mario L.Z., Daniel K., Jose E. de M. Jr., Maria Cristina C. de C., Maria Ines R. C. F. Reintervention in Endodontics. — 1st edition. — Quintessence Pub Co, 2014. — 314 P.
3. James L. Gutmann, Paul E.L. Problem Solving in Endodontics: Prevention, Identification and Management. — 5th edition. — Mosby, 2010. — 496 PP.
4. Kolahi J., Khazaei S., Iranmanesh P., Khademi A., Nekoofar M.H., Dummer P.M.H. Altmetric analysis of the contemporary scientific literature in Endodontology. Int Endod J. 2020;53(3):308–316. doi:10.1111/iej.13226
5. Chubb D.W.R. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. Aust Endod J. 2019;45(1):5-11. doi:10.1111/aej.12348
6. Flemming H.C., Wingender J., Szewzyk U., Steinberg P., Rice S.A., Kjelleberg S. Biofilms: an emergent form of bacterial life. Nat Rev Microbiol. 2016;14(9):563–575. doi:10.1038/nrmicro.2016.94

7. Diaz P.I. Microbial diversity and interactions in subgingival biofilm communities. *Front Oral Biol.* 2012;15:17–40. doi:10.1159/000329669
8. Siqueira J.F. Jr, Rôças I.N. Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability. *Aust Endod J.* 2011;37(3):92–98. doi:10.1111/j.1747-4477.2011.00334.x
9. Ricucci D., Siqueira J.F. Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277–1288. doi:10.1016/j.joen.2010.04.007
10. Ricucci D., Loghin S., Siqueira J.F. Jr. Exuberant Biofilm infection in a lateral canal as the cause of short-term endodontic treatment failure: report of a case. *J Endod.* 2013;39(5):712–718. doi:10.1016/j.joen.2012.12.008
11. Ashok R., Ganesh A., Deivanayagam K. Bactericidal Effect of Different Anti-Microbial Agents on *Fusobacterium Nucleatum* Biofilm. *Cureus.* 2017;9(6):e1335. Published 2017 Jun 11. doi:10.7759/cureus.1335
12. Boutsioukis C., Kastrinakis E., Lambrianidis T., Verhaagen B., Versluis M., van der Sluis L.W. Formation and removal of apical vapor lock during syringe irrigation: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *Int Endod J.* 2014;47(2):191–201. doi:10.1111/iej.12133
13. Brittan J.L., Sprague S.V., Macdonald E.L., Love R.M., Jenkinson H.F., West N.X. In vivo model for microbial invasion of tooth root dentinal tubules. *J Appl Oral Sci.* 2016;24(2):126–135. doi:10.1590/1678-775720150448
14. Dutner J., Mines P., Anderson A. Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *J Endod.* 2012;38(1):37–40. doi:10.1016/j.joen.2011.08.013
15. Arias-Moliz M.T., Ordinolá-Zapata R., Baca P., Ruiz-Linares M., Ferrer-Luque C.M. Antimicrobial activity of a sodium hypochlorite/etidronic acid irrigant solution. *J Endod.* 2014;40(12):1999–2002. doi:10.1016/j.joen.2014.07.031
16. Ruiz-Linares M., Aguado-Pérez B., Baca P., Arias-Moliz M.T., Ferrer-Luque C.M. Efficacy of antimicrobial solutions against polymicrobial root canal biofilm. *Int Endod J.* 2017;50(1):77–83. doi:10.1111/iej.12598
17. Yang Y., Shen Y., Wang Z. et al. Evaluation of the Susceptibility of Multispecies Biofilms in Dentinal Tubules to Disinfecting Solutions. *J Endod.* 2016;42(8):1246–1250. doi:10.1016/j.joen.2016.05.011
18. Busanello F.H., Petridis X., So M.V.R., Dijkstra R.J.B., Sharma P.K., van der Sluis L.W.M. Chemical biofilm removal capacity of endodontic irrigants as a function of biofilm structure: optical coherence tomography, confocal microscopy and viscoelasticity determination as integrated assessment tools. *Int Endod J.* 2019;52(4):461–474. doi:10.1111/iej.13027
19. Tawakoli P.N., Ragnarsson K.T., Rechenberg D.K., Mohn D., Zehnder M. Effect of endodontic irrigants on biofilm matrix polysaccharides. *Int Endod J.* 2017;50(2):153–160. doi:10.1111/iej.12604
20. Tejada S., Baca P., Ferrer-Luque C.M., Ruiz-Linares M., Valderrama M.J., Arias-Moliz M.T. Influence of dentine debris and organic tissue on the properties of sodium hypochlorite solutions. *Int Endod J.* 2019;52(1):114–122. doi:10.1111/iej.12986
21. Hong S.W., Baik J.E., Kang S.S., Kum K.Y., Yun C.H., Han S.H. Sodium Hypochlorite Inactivates Lipoteichoic Acid of *Enterococcus faecalis* by Deacylation. *J Endod.* 2016;42(10):1503–1508. doi:10.1016/j.joen.2016.06.018
22. Dutner J., Mines P., Anderson A. Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *J Endod.* 2012;38(1):37–40. doi:10.1016/j.joen.2011.08.013
23. Willershausen I., Wolf T.G., Schmidtman I. et al. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *Int Endod J.* 2015;48(7):654–660. doi:10.1111/iej.12360
24. Boutsioukis C., Psimma Z., van der Sluis L.W. Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *Int Endod J.* 2013;46(7):599–618. doi:10.1111/iej.12038
25. Guivarç'h M., Ordioni U., Ahmed H.M., Cohen S., Catherine J.H., Bukiet F. Sodium Hypochlorite Accident: A Systematic Review. *J Endod.* 2017;43(1):16–24. doi:10.1016/j.joen.2016.09.023
26. Boutsioukis C., Lambrianidis T., Kastrinakis E., Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J.* 2007;40(7):504–513. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01244.x
27. Macedo R.G., Wesselink P.R., Zaccheo F., Fanali D., Van Der Sluis L.W. Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: effect of activation, exposure time, concentration and pH. *Int Endod J.* 2010;43(12):1108–1115. doi:10.1111/j.1365-2591.2010.01785.x
28. Ragnarsson K.T., Rechenberg D.K., Attin T., Zehnder M. Available chlorine consumption from NaOCl solutions passively placed in instrumented human root canals. *Int Endod J.* 2015;48(5):435–440. doi:10.1111/iej.12332
29. Chau N.P., Chung N.H., Jeon J.G. Relationships between the antibacterial activity of sodium hypochlorite and treatment time and biofilm age in early *Enterococcus faecalis* biofilms. *Int Endod J.* 2015;48(8):782–789. doi:10.1111/iej.12376
30. Petridis X., Busanello F.H., So M.V.R., Dijkstra R.J.B., Sharma P.K., Van der Sluis L.W.M. Factors affecting the chemical efficacy of 2% sodium hypochlorite against oral steady-state dual-species biofilms: Exposure time and volume application. *Int Endod J.* 2019;52(8):1182–1195. doi:10.1111/iej.13102
31. Haapasalo M., Qian W., Shen Y. Irrigation: beyond the smear layer. *Endodontic Topics.* 2012;27:35–53.
32. Swimberghe R.C.D., Coenye T., De Moor R.J.G., Meire M.A. Biofilm model systems for root canal disinfection: a literature review. *Int Endod J.* 2019;52(5):604–628. doi:10.1111/iej.13050
33. Siqueira J.F. Jr., Antunes H.S., Rôças I.N., Rachid C.T., Alves F.R. Microbiome in the Apical Root Canal System of Teeth with Post-Treatment Apical Periodontitis. *PLoS One.* 2016;11(9):e0162887. Published 2016 Sep 30. doi:10.1371/journal.pone.0162887
34. Zandi H., Kristoffersen A.K., Orstavik D., Rôças I.N., Siqueira J.F. Jr., Enersen M. Microbial Analysis of Endodontic Infections in Root-filled Teeth with Apical Periodontitis before and after Irrigation Using Pyrosequencing. *J Endod.* 2018;44(3):372–378. doi:10.1016/j.joen.2017.11.019

35. Ruksakiet K., Hanák L., Farkas N. et al. Antimicrobial Efficacy of Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite in Root Canal Disinfection: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *J Endod.* 2020;46(8):1032–1041.e7. doi:10.1016/j.joen.2020.05.002
36. Boutsoukis C., Arias-Moliz M.T., Chávez de Paz L.E. A critical analysis of research methods and experimental models to study irrigants and irrigation systems. *Int Endod J.* 2022;55:295–329. doi:10.1111/iej.13710
37. Baca P., Junco P., Arias-Moliz M.T., Castillo F., Rodríguez-Archilla A., Ferrer-Luque C.M. Antimicrobial substantivity over time of chlorhexidine and cetrимide. *J Endod.* 2012;38(7):927–930. doi:10.1016/j.joen.2012.04.003
38. Barrios R., Ferrer-Luque C.M., Arias-Moliz M.T., Ruiz-Linares M., Bravo M., Baca P. Antimicrobial substantivity of alexidine and chlorhexidine in dentin. *J Endod.* 2013;39(11):1413–1415. doi:10.1016/j.joen.2013.07.038
39. Coulier J., Deprez F.C. Iatrogenic facial subcutaneous emphysema after endodontic treatment. *JBR-BTR.* 2011;94(1):38. doi:10.5334/jbr-btr.487
40. Mishra L., Patnaik S., Patro S., Debnath N., Mishra S. Iatrogenic subcutaneous emphysema of endodontic origin — case report with literature review. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(1):279–281. doi:10.7860/JCDR/2014/6909.3876

© Реутов Артём Сергеевич (DeadJackArt@gmail.com); Скворцова Елена Николаевна (len.skvortzova2014@yandex.ru);
Ефремова Анастасия Владимировна (nastasya.efremova.87@list.ru); Фролова Кристина Евгеньевна (kristina.frolova.1983@mail.ru);
Коновалова Екатерина Валерьевна (udaltsovakaterina@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МИКРОЦИРКУЛЯЦИЯ ТКАНЕЙ ПАРОДОНТА ПРИ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ У ДЕТЕЙ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

MICROCIRCULATION OF PERIODONTAL TISSUES IN CHILDREN WITH CORONAVIRUS INFECTION. LITERATURE REVIEW

I. Romanov
A. Petrov

Summary. The spread of the coronavirus pandemic (SARS-CoV-2), known as COVID-19, has led to a large number of diseases worldwide. With coronavirus infection, not only the respiratory, but also the cardiovascular system of the human body suffers significantly. Microvascular damage, endothelial dysfunction and thrombosis resulting from viral infection are characteristic signs of the course of COVID-19. Against the background of vascular pathology in the oral cavity, various manifestations can be observed, ranging from halitosis and xerostomia, ending with papular bullous rashes and necrosis of the mucous membrane. In this review, literature studies on the topic of specific.

Keywords: periodontal diseases in children, gingivitis, microcirculation, mechanisms of inflammation, coronavirus infection, flowmetry.

Актуальность

Нарушения микроциркуляции лежат в основе огромного множества патологических процессов, так как в сосудах микроциркуляторного русла происходит ряд обменных процессов таких важнейших метаболитов как кислород, углекислый газ и прочих питательных веществ. Несмотря на многочисленные литературные данные практически отсутствует информация о влиянии COVID-19 на микроциркуляторное русло тканей пародонта, особенно у детей.

Цель исследования: изучить результаты исследований влияния новой коронавирусной инфекции на микроциркуляцию тканей пародонта у детей.

Материалы и методы: при проведении исследования выполнены анализированы данные систематических обзоров и оригинальных статей российских и зарубежных исследователей. Для поиска литературы использовались базы данных PubMed, Web of Science, Embase, MedLine и РИЦН.

Нарушения микроциркуляции следует рассматривать в аспекте важной особенности COVID-19, способной прогнозировать и риск развития тромботических

Романов Иван Андреевич

Ассистент, Аспирант,

Читинская государственная медицинская академия
vaniii4@mail.ru

Петрова Александра Моисеевна

Кандидат медицинских наук,

Читинская государственная медицинская академия
Petam2014@yandex.ru

Аннотация. Распространение пандемии коронавируса (SARS-CoV-2), известной как COVID-19, привело к большому количеству заболеваний во всем мире. При коронавирусной инфекции значительно страдает не только дыхательная, но и сердечно-сосудистая система организма человека. Повреждение микрососудов, эндотелиальная дисфункция и тромбоз, возникающие в результате вирусной инфекции являются характерными признаками течения COVID-19. На фоне сосудистой патологии в полости рта могут наблюдаться различные проявления начиная от галитоза и ксеростомии, заканчивая папулезно-буллезными высыпаниями и некрозом слизистой оболочки. В данном обзоре произведено исследование литературы на тему специфических проявлений COVID-19 в полости рта.

Ключевые слова: заболевания пародонта у детей, гингивит, микроциркуляция, механизмы воспаления, коронавирусная инфекция, флоуметрия.

сосудистых патологий. Предполагается, что механизмы, лежащие в основе дисфункции, на уровне микроциркуляторного русла могут быть связаны с воспалительным штормом и неконтролируемым опосредованным повреждением эндотелия [3, 27].

По данным исследователей, у пациентов с COVID-19 часто выявляются признаки тромбоза на микроциркуляторном уровне. Это связано сразу с несколькими патогенетическими механизмами. Эндотелий сосудов повреждается в результате связывания вируса с Толл-подобными рецепторами (TLR), которые инициируют повышенную выработку цитокинов [2]. Кроме этого, происходит связывание вируса с ACE-2-рецепторами, и эндотелиальная клетка начинает продуцировать большое количество проагрегантов и вазоконстрикторов [7,18].

Индукцированные признаки гипервоспаления, включая повышение уровня цитокинов, инфильтрацию иммунными клетками дыхательных путей и выработку ТК-протеазы — эффекты, подавляемые моноклональным антителом против сиглека-8, которое избирательно ингибирует ТК и истощает эозинофилы, что свидетельствует о том, что активация ТК и эозинофилов связана с воспалением COVID-19 [14].

Эритроциты теряют свою способность к изменению формы при прохождении сосудов микроциркуляторного русла с диаметром меньше диаметра красной клетки крови [23].

Отчетливые морфологические изменения, особенно изменения мембран эритроцитов, наблюдались в образцах, взятых у пациентов с COVID-19. Расширение мембраны определяли, как выпячивание мембраны, ведущее к верушке, которую можно наблюдать в эритроците. Эти изменения были значительно выше после заражения SARS-CoV-2 как у мужчин, так и у женщин по сравнению со здоровым контролем [15].

Важной характеристикой коронавирусной инфекции является прокоагулянтный ответ в ее острой фазе, когда реагенты (такие как фактор VIII, фактор фон Виллебранда и фибриноген) сочетаются с повышенным риском тромбоза, неразрывно связанным с повышенным уровнем фибриногена. В тяжелой степени заболевания отмечается повышение воспалительных цитокинов (фактора некроза опухоли и интерлейкинов (ИЛ-1, ИЛ-6)). Интерлейкин-6 вызывает экспрессию тканевого фактора в макрофагах, что инициирует активацию коагуляции и образование тромбина [9, 21, 23].

Доктора Либби и Люшер отмечают, что COVID-19 является эндотелиальным заболеванием, и все органы перфузируются за счет сосудистой микроциркуляции с капиллярами, состоящими из эндотелия и перicyтов. Интересно, что оба типа клеток, как было обнаружено, экспрессируют белок ACE-2 на своей клеточной мембране, и широко сообщалось, что инфекция SARS-CoV-2 повреждает стенки сосудов, а также вызывает образование тромбов в крупных и мелких кровеносных сосудах [22].

Согласно обзору Østergaard, частицы SARS-CoV-2 были обнаружены с помощью электронной микроскопии в эндотелии легких, сердца, почек, головного мозга и кожи пациентов с диагнозом COVID-19, которые приводили к морфологическим изменениям, таким как отек, выпячивание в просвет капилляров, и апоптоз некоторых эндотелиальных клеток, что указывает на тяжелую гипоксию в окружающих тканях. Таким образом, повреждение эндотелия, вероятно, нарушает картину капиллярного кровотока, а апоптоз может нарушать передачу сигналов между межклеточными коннексиновыми каналами и расположенными выше клетками гладкой мускулатуры сосудов [29].

Известно, что вирус непосредственно атакует эндотелиальные клетки микрососудов. Сафонова Т.Н. с соавторами в своей работе «Влияние новой коронавирусной инфекции, вызванной вирусом SARS-CoV-2, на микроциркуляцию в конъюнктиве» доказали, что оба механизма патогенеза — эндотелиальная дисфункция, как

событие, связанное с вирусной инвазией и с последствием цитокинового шторма — вовлечены одновременно. Авторы предполагают, что лазерная доплеровская флоуметрия сосудов конъюнктивы может являться скрининговым методом для оценки степени нарушений микроциркуляции организма и оценки состояния на фоне проводимой терапии [4].

Неинвазивную оценку кожной микроциркуляции у пациентов с COVID-19 дали Глазкова П.А. с соавторами. Выявлено снижение базовой перфузии, что косвенно свидетельствует о повышении тонуса сосудов и может быть обусловлено микротромбозом сосудов в месте измерения [2].

Чубарнова М.В. с соавторами выявили у пациентов, которые переболели новой коронавирусной инфекцией, и не получали симптоматическую антикоагулянтную терапию, повышение периферического сопротивления и упруго-эластических свойств артерий микроциркуляторного русла слизистой оболочки полости рта (СОПР). Причиной этих изменений может быть нарушение реологических свойств крови, сохраняющееся длительное время после перенесенного заболевания. Достоверных различий в изменении скорости кровотока не выявлено, это говорит о работе компенсаторных механизмов сердечно-сосудистой системы. По результатам исследования были выявлены скрининговые возможности и потенциал высокочастотной ультразвуковой доплерографии для применения у пациентов различного возраста и разного соматического здоровья [6].

Согласно результатам последних исследований, COVID-19 сопровождается появлением у пациентов стоматологических проблем. Инфекция в полости рта может проявляться в виде папул, эрозий, язв, налета, трещин губ и языка, точечных кровоизлияний, и увеличения лимфатических узлов [5, 26].

Данные проявления могут быть следствием нарушения кровоснабжения и поступления питательных веществ к тканям зубов и пародонта. Второй механизм связан с воспалительными реакциями в организме, которые развиваются при коронавирусной инфекции. Неконтролируемое воспаление, сопровождающееся резким возрастанием уровня цитокинов в крови, приводит к повреждению собственных тканей организма иммунными клетками (цитокиновый шторм) [27].

Одним из наиболее распространенных осложнений COVID-19 в полости рта являются язвенные поражения полости рта. Язык является наиболее частой локализацией, за которой следует слизистая оболочка щек и твердого неба. Болезненные язвы появляются либо одиночно, либо в виде множественных мелких язв, которые напоминают герпетические язвы, или афтозные

язвы с диффузно-эритематозным основанием. Афтозные язвы со временем сливаются, образуют большие язвы с желтоватым фибрином, напоминая мультиформную эритему [13].

Предполагается, что эрозии и язвы наблюдаются из-за прямого повреждения слизистой оболочки полости рта, вызванного связыванием SARS-CoV-2 с клетками эпителия полости рта (кератиноцитами и некератиноцитами). Наблюдается повышенная проницаемость клеток и проникновение SARS-CoV-2 внутрь эпителиальных клеток. Воспаление может быть локальным или системным, приводя к продукции воспалительных цитокинов и TNF- α , активируя хемотаксис нейтрофилов в очаг воспаления слизистой оболочки полости рта, вызывая появление афтозных поражений. Воспаление при коронавирусной инфекции может проявляться и в виде неспецифических язв, эрозий, везикулобуллезных поражений и мукозита [12].

Тяжелые формы поражения СОПР проявляются пузырьно-буллезными высыпаниями в сочетании с кожными проявлениями, проявляются в виде волдырей, петехий, эритематозных поражений и многоформных эритемоподобных поражений. Наиболее частая локализация — язык и нёбо [6, 17].

Кандидозные проявления также наблюдаются при COVID-19. Определяются красные и белые бляшки, располагающиеся на спинке языка и нёбе. Причиной таких проявлений считают подавление иммунитета в результате антибиотикотерапии, ухудшение общего состояния здоровья и плохую гигиену полости рта [8].

В исследованиях Favia G и соавторов сообщается об изменениях в слизистой оболочке десны, проявляющихся в виде генерализованной эритематозной и отечной формах, кровоточивости, некротических поражений межзубных сосочков и десквамативного гингивита [13].

Поражения СОПР чаще встречались у пациентов на ранних сроках реабилитации (до 1 месяца после COVID-19), а также у лиц, сроки заболевания которых превышали 30 дней, при этом в обоих случаях наблюдался высокий уровень IgA в ротовой жидкости.

У пациентов, перенесших инфекцию COVID-19 уровень IgA в ротовой жидкости выше 705,3 мкг/мл. Динамика показателей секреторного иммуноглобулина в ротовой жидкости дает возможность использовать его в качестве биологического маркера для не инвазивной экспресс-диагностики коронавирусной инфекции [13].

Выявлены случаи больных COVID-19 с изолированным поражением слизистой оболочки полости рта. Инфекция SARS-CoV-2 обнаружена на слизистой оболочке

полости рта, железах и в слюне пациентов. Бессимптомная передача SARS-CoV-2 является потенциальным механизмом распространения вируса во время этой пандемии, поэтому необходимо соблюдать необходимые меры предосторожности при обследовании пациентов в поликлиниках с поражениями слизистой оболочки полости рта [16].

Согласно результатам исследований Синьцзюань Сан и соавторов нарушения микроциркуляции подъязычной области у группы пациентов заключались в увеличении количества мелких сосудов с остановленным, прерывистым или замедленным кровотоком. Доля неперфузированных сосудов в несколько раз превышала нормальные значения. Гетерогенность микрососудов увеличена, а скорость перфузии снижена. Повышение плотности сосудов коррелировало с долей неперфузируемых микрососудов. Диффузионные детерминанты доступности кислорода в микроциркуляторном русле и плотность сосудов повышаются, тогда как конвективные компоненты (индекс микроциркуляторного кровотока, доля перфузируемых сосудов и скорость эритроцитов) снижаются. Данные показатели могут быть связаны с усиленным ангиогенезом или рекрутированием капилляров, индуцированным гипоксией [26,17].

У пациентов с коронавирусной инфекцией часто наблюдается поражение слюнных желез из-за экспрессии ACE-2 в малых слюнных железах, которая выше по сравнению с легкими, следовательно делает слюнные железы восприимчивыми к вирусной инфекции SARS-CoV-2 [16].

В Италии проводилось вне— и внутриротовое физикальное обследование 122 пациентов. Наиболее частыми оральными проявлениями выявлены: эктазия слюнных желез, сухость во рту, слабость жевательных мышц, аномалии ВНЧС, дисгевзия, аносмия, покалывание лица, невралгия тройничного нерва, асимметрия лица. Авторы пришли к выводу, что проявления в полости рта сохранялись у подавляющего большинства даже после клинического выздоровления, и, таким образом, полость рта могла быть вероятной мишенью COVID-19 [16]. В ряде исследований утверждается, что проявления COVID-19 в основном зависят от возраста и наличия сопутствующих заболеваний [24]. Однако, на сегодняшний день имеются исследования, доказывающие широкое распространение оральных проявлений COVID-19 среди детского населения.

В исследовании Gizem S. Erbaş и соавторов представлены данные о местных проявлениях подтвержденной коронавирусной инфекции в полости рта у детей в возрасте от 4 месяцев до 17 лет. Были предоставлены данные обследования 23 детей. Клиническими проявлениями заболевания у данной группы пациентов были отек

и гиперемия губ, хейлиты, эрозии красной каймы губ, лакированный язык, гипертрофия сосочков языка, гиперемия и эрозии слизистой оболочки боковой поверхности языка и десен [10].

В литературе указывается, что у детей с Covid-19 обычно проявляются симптомы, сходные с симптомами взрослых, но более в легкой форме. Однако в некоторых исследованиях выявлено, что у детей с Covid-19 наблюдаются симптомы, похожие на симптомы болезни Kawasaki, которые могут проявляться одновременно или после разрешения инфекции [11].

Несмотря на это, не все симптомы, возникающие у детей на фоне COVID-19, согласуются с руководством Kawasaki Американской кардиологической ассоциации; по этой причине ВОЗ присвоила этому набору симптомов название мультисистемного воспалительного синдрома, вызванного цитокиновым штормом, возникшем на фоне попадания в организм SARS-CoV-2. Мультисистемный воспалительный синдром также называют болезнью, подобной Kawasaki, или Кава-Ковид-19, поскольку он имеет общие клинические, патогенетические и лабораторные характеристики с БК, а также с синдромом токсического шока и синдромом активации макрофагов [25].

Проявления в полости рта болезни Kawasaki наблюдаются в виде ксеростомии, хейлитов, а также эритемы слизистой оболочки полости рта и ротоглотки [28].

Таким образом, в результате нарушения микроциркуляции и нарушения трофики тканей пародонта с самым повреждением клеток вследствие гипоксии у пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию, возникают различные заболевания слизистой оболочки полости рта и тканей пародонта.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения заболевания пародонта имеют широкое распространение. Как взрослое, так и детское население планеты имеют признаки пародонтопатий — около 95 и 80 % соответственно. Высокий уровень воспалительных заболеваний пародонта приходится на возраст 15–19 лет (от 55–89 %) [1].

Согласно статистическим данным отделения детской стоматологии клиники ФГБОУ ВО ЧГМА отмечается увеличение распространенности заболеваний пародонта у детей на 30 % на фоне перенесенной коронавирусной инфекции.

Очевидно, что необходимы дальнейшие исследования микроциркуляции для понимания степени тяжести повреждений и их прогностической значимости, а также формирования терапевтических стратегий, направленных на профилактику рисков развития тромботических осложнений в разных группах пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова Э.Г., Комова А.А., Никитина Е.А. Особенности состояния пародонта при гальванозе полости рта. Здоровье и образование в XXI веке. 2018. 20(5). 50–54. DOI 10.26787/nydha-2226-7425-2018-20-5-50-54.
2. Глазкова П.А., Куликов Д.А., Рогаткин Д.А., Журавлев О.Р., Шехян Г.Г., Глазков А.А., Козлова К.А., Терпигорев С.А. Неинвазивная оценка кожной микроциркуляции крови у пациентов с COVID-19. Альманах клинической медицины. 2020. 48 (Спецвыпуск 1). 527–31. DOI 10.18786/2072-0505-2020-48-037.
3. Локтионова И.Л., Покровский М.В., Рагулина В.А., Титарева Л.В., Денисюк Т.А., Ступакова Е.В., Сытник М.В., Сароян К.В., Лосенок С.А. Состояние функции сосудистого эндотелия при инфекционной патологии различной этиологии. Актуальные проблемы медицины. 2012. 4(123). 20–31.
4. Сафонова Т.Н., Зайцева Г.В., Кинтюхина Н.П. Влияние новой коронавирусной инфекции, вызванной вирусом БКБ-СoV-2, на микроциркуляцию в конъюнктиве. Медицинский совет. 2022. 16(14). 206–211. DOI 10.21518/2079-701X-2022-16-14-206-211.
5. Ушницкий И.Д., Иванова А.А., Пинелис И.С., Юркевич А.В., Михальченко Д.В. Современные этиологические и патогенетические аспекты воспалительных процессов тканей пародонта. Эндодонтия Today. 2019. 17(4). 46–49. DOI 10.36377/1683-2981-2019-17-4-46-49.
6. Чубарнова М.В., Давыдов А.Б., Есин В.А., Давыдова О.Б., Костин И.О. Изменения микроциркуляции слизистой оболочки полости рта у пациентов, перенесших COVID-19 и не получающих антикоагулянтную терапию. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021. 20(4). 95–100. DOI 10.24884/1682-6655-2021-20-4-95-100.
7. Шатунова П.О., Быков А.С., Свитич О.А., Зверев В.В. Ангиотензинпревращающий фермент 2. Подходы к патогенетической терапии COVID-19. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2020. 97(4). 339–345. DOI 10.36233/0372-9311-2020-97-4-6.
8. Amorim Dos Santos J., Normando A.G.C., Carvalho da Silva R.L., De Paula R.M., Cembranel A.C., Santos-Silva A.R., Guerra E.N.S. Oral mucosal lesions in a COVID-19 patient: New signs or secondary manifestations? Int J Infect Dis. 2020. 97. 326–328. DOI 10.1016/j.ijid.2020.06.012.
9. Colantuoni A., Martini R., Caprari P., Ballestri M., Capecci P.L., Gnasso A., Lo Presti R., Marcocchia A., Rossi M., Caimi G. COVID-19 Sepsis and Microcirculation Dysfunction. Front Physiol. 2020. 11. 747. DOI 10.3389/fphys.2020.00747.
10. Erbaş G.S., Botsali A., Erden N., Ari C., Taşkin B., Alper S., Vural S. COVID-19-related oral mucosa lesions among confirmed SARS-CoV-2 patients: a systematic review. Int J Dermatol. 2022. 61(1). 20–32. DOI 10.1111/ijd.15889.
11. Falah N.U., Hashmi S., Ahmed Z., Jaan A., Akhtar A., Khalid F., Farooque U., Shera M.T., Ali S., Javed A. Kawasaki disease-like features in 10 pediatric COVID-19 cases: A retrospective study. Cureus. 2020. 12. e11035.
12. Farid H., Khan M., Jamal S., Ghafoor R. Oral manifestations of Covid-19-A literature review. Rev Med Virol. 2022. 32(1). e2248. DOI 10.1002/rmv.2248.

13. Favia G., Tempesta A., Barile G., Brienza N., Capodiferro S., Vestito M.C. Covid-19 symptomatic patients with oral lesions: clinical and histopathological study on 123 cases of the university hospital policlinic of bari with a purpose of a new classification. *J Clin Med*. 2021. 10(4). 757. DOI 10.3390/jcm10040757.
14. Gebremeskel S., Schanin J., Coyle K.M., Butuci M., Luu T., Brock E.C. Xu A., Wong A., Leung J., Korver W., Morin R.D., Schleimer R.P., Bochner B.S., Youngblood B.A. Mast cell and eosinophil activation are associated with COVID-19 and TLR-mediated viral inflammation: implications for an anti-Siglec-8 antibody. *Front Immunol*. 2021. 12. 650331. DOI 10.3389/fimmu.2021.650331.
15. Grau M., Ibershoff L., Zacher J., Bros J., Tomschi F., Diebold K.F., Predel H.G., Bloch W. Even patients with mild COVID-19 symptoms after SARS-CoV-2 infection show prolonged altered red blood cell morphology and rheological parameters. *J Cell Mol Med*. 2022. 26(10). 3022–3030. DOI 10.1111/jcmm.17320.
16. Huang N., Pérez P., Kato T., Mikami Y., Okuda K., Gilmore R.C., Conde C.D., Gasmi B., Stein S., Beach M., Pelayo E., Maldonado J.O., Lafont B.A., Jang S.I., Nasir N., Padilla R.J., Murrah V.A., Maile R., Lovell W., Waller S.M., Bowman N.M., Meinig S.L., Wolfgang M.C., Choudhury S.N., Novotny M., Aevermann B.D., Scheuermann R.H., Cannon G., Anderson C.W., Lee R.E., Marchesan J.T., Bush M., Freire M., Kimple A.J., Herr D.L., Rabin J., Grazioli A., Das S., French B.N., Pranzatelli T., Chiorini J.A., Kleiner D.E., Pittaluga S., Hewitt S.M., Burbelo P.D., Chertow D., Frank K., Lee J., Boucher R.C., Teichmann S.A., Warner B.M., Byrd K.M. SARS-CoV-2 infection of the oral cavity and saliva. *Nat Med*. 2021. 27(5).892–903. DOI 10.1038/s41591-021-01296-8.
17. Jimenez-Cauhe J., Ortega-Quijano D., Carretero-Barrio I., Suarez-Valle A., Saceda-Corralo D., Moreno-García Del Real C., Fernandez-Nieto D. Erythema multiforme-like eruption in patients with COVID-19 infection: clinical and histological findings. *Clin Exp Dermatol*. 2020. 45(7). 892–895. DOI 10.1111/ced.14281.
18. Jin L.J., Söder P.O., Leung W.K., Corbet E.F., Samaranyake L.P., Söder B., Davies W.I. Granulocyte elastase activity and PGE2 levels in gingival crevicular fluid in relation to the presence of subgingival periodontopathogens in subjects with untreated adult periodontitis. *J Clin Periodontol*. 1999. 26(8). 531–540. DOI 10.1034/j.1600-051x.1999.260807.x.
19. Kanoore Edul V.S., Caminos Eguillor J.F., Ferrara G., Estenssoro E., Siles D.S.P., Cesio C.E., Dubin A. Microcirculation alterations in severe COVID-19 pneumonia. *J Crit Care*. 2021. 61. 73–75. DOI 10.1016/j.jcrrc.2020.10.002.
20. Lescure F.X., Bouadma L., Nguyen D., Parisey M., Wicky P.H., Behillil S., Gaymard A., Bouscambert-Duchamp M., Donati F., Le Hingrat Q., Enouf V., Houhou-Fidouh N., Valette M., Mailles A., Lucet J.C., Mentre F., Duval X., Descamps D., Malvy D., Timsit J.F., Lina B., van-der-Werf S., Yazdanpanah Y. Clinical and virological data of the first cases of COVID-19 in Europe: a case series. *Lancet Infect Dis*. 2020. 20(6). 697–706. DOI 10.1016/S1473-3099(20)30200-0.
21. Levi M., Thachil J., Iba T., Levy J.H. Coagulation abnormalities and thrombosis in patients with COVID-19. *Lancet Haematol*. 2020. 7(6). e438–e440. DOI 10.1016/S2352-3026(20)30145-9.
22. Libby P., Lüscher T. COVID-19 is, in the end, an endothelial disease. *Eur Heart J*. 2020. 41(32). 3038–3044. DOI 10.1093/eurheartj/ehaa623.
23. Marietta M., Ageno W., Artoni A., De Candia E., Gresele P., Marchetti M., Marcucci R., Tripodi A. COVID-19 and haemostasis: a position paper from Italian Society on Thrombosis and Haemostasis (SIST). *Blood Transfus*. 2020. 18(3). 167–169. DOI 10.2450/2020.0083-20.
24. Pal M., Berhanu G., Desalegn C., Kandi V. Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 (SARS-CoV-2): An Update. *Cureus*. 2020. 12. e7423. DOI 10.7759/cureus.7423.
25. Sarzaeim M., Rezaei N. Kawasaki disease and multisystem inflammatory syndrome in children with COVID-19. *SN Compr Clin Med*. 2020. 2. 2096–2101.
26. Sun X., Wang T., Cai D., Hu Z., Chen J., Liao H., Zhi L., Wei H., Zhang Z., Qiu Y., Wang J., Wang A. Cytokine storm intervention in the early stages of COVID-19 pneumonia. *Cytokine Growth Factor Rev*. 2020. 53. 38–42. DOI 10.1016/j.cytogfr.2020.04.002.
27. Varadhachary A., Chatterjee D., Garza J., Garr R.P., Foley C., Letkeman A.F., Dean J., Haug D., Breeze J., Traylor R., Malek A., Nath R., Linbeck L. Salivary anti-SARS-CoV-2 IgA as an accessible biomarker of mucosal immunity against COVID-19. *MedRxiv pre-print*. 2020. 11. 2020.08.07.20170258. DOI 10.1101/2020.08.07.20170258.
28. Verdoni L., Mazza A., Gervasoni A., Martelli L., Ruggeri M., Ciuffreda M., Bonanomi E., D'Antiga L. An outbreak of severe Kawasaki-like disease at the Italian epicentre of the SARS-CoV-2 epidemic: an observational cohort study. *Lancet*. 2020. 395(10239). 1771–1778. DOI 10.1016/S0140-6736(20)31103-X.
29. Østergaard L. SARS CoV-2 related microvascular damage and symptoms during and after COVID-19: consequences of capillary transit-time changes, tissue hypoxia and inflammation. *Physiol Rep*. 2021. 9(3). e14726. DOI 10.14814/phy2.14726.

© Романов Иван Андреевич (vaniii4@mail.ru); Петрова Александра Моисеевна (Petam2014@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРОДОНТИТОМ, ПНЕВМОНИЕЙ И COVID-19

THE RELATIONSHIP BETWEEN PERIODONTITIS, PNEUMONIA AND COVID-19

K. Yakupova
R. Yakupova
A. Malikhova
P. Khafizova
E. Sultanova
I. Asfandiyyarova

Summary. Periodontitis is an irreversible chronic inflammatory disease of the supporting apparatus of the tooth, including the alveolar bone, gum and periodontal ligament. The pathogenesis of periodontitis is characterized by a violation of the interaction of the host and opportunistic microorganisms, which leads to the proliferation of periodontal pathogens, in particular *orphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola* and *Tannerella forsythia*, with subsequent destruction of periodontal tissue. The incidence of chronic periodontal tissue diseases in the adult population has reached 98 %. Oral pathogens, including periodontal pathogenic bacteria, can enter the lungs by aspiration. Since the beginning of the pandemic, there have been suggestions that periodontitis also has a direct connection with COVID-19. A large amount of evidence has demonstrated that the oral cavity is a source of pathogens that can spread hematogenically. Over the past year, there has been increasing evidence that several areas of the oral cavity, including periodontal pockets, can contain and reproduce SARS-CoV-2, which requires additional research to clarify the relationship between periodontitis and COVID-19. In addition, oral care measures should be taken to reduce the microbial burden and the risk of the spread of SARS-CoV-2, as well as the incidence of respiratory infections in a more global sense.

Keywords: periodontitis, pneumonia, COVID-19, SARS-CoV-2, microbiome.

Якупова Камила Ирековна

Ординатор, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа
 kuznetsovarticles@mail.ru

Якупова Резида Анваровна

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа
 rezida.yakupova@mail.ru

Малихова Альбина Фаритовна

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа
 albinainail2010@yandex.ru

Хафизова Полина Витальевна

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа
 Polinakhafizova@yandex.ru

Султанова Элеонора Ильдаровна

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа
 eleonorasult@mail.ru

Асфандиярова Ирина Вячеславовна

Башкирский Государственный медицинский университет, Уфа
 irinaasf@mail.ru

Аннотация. Пародонтит — это необратимое хроническое воспалительное заболевание опорного аппарата зуба, включая альвеолярную кость, десну и пародонтальную связку. Патогенез пародонтита характеризуется нарушением взаимодействия хозяина и условно-патогенных микроорганизмов, что приводит к разрастанию пародонтальных патогенов, в частности *orphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola* и *Tannerella forsythia*, с последующим разрушением ткани пародонта. Частота встречаемости хронических заболеваний тканей пародонта у взрослого населения достигла 98 %. Оральные патогены, включая пародонтальные патогенные бактерии, могут попасть в легкие посредством аспирации. С начала пандемии появились предположения, что пародонтит также имеет прямую связь с COVID-19. Большое количество доказательств продемонстрировало, что ротовая полость является источником патогенов, которые могут распространяться гематогенным путем. За последний год появляется все больше данных о том, что несколько участков полости рта, включая пародонтальные карманы, могут содержать и воспроизводить SARS-CoV-2, что требует дополнительных исследований для выяснения связи между пародонтитом и COVID-19. Кроме того, следует принимать меры по уходу за полостью рта, чтобы снизить микробную нагрузку и риск распространения SARS-CoV-2, а также заболеваемость респираторными инфекциями в более глобальном смысле.

Ключевые слова: пародонтит, пневмония, COVID-19, SARS-CoV-2, микробиом.

Введение

Пародонтит — это необратимое хроническое воспалительное заболевание опорного аппарата зуба, включая альвеолярную кость, десну и пародонтальную связку. Патогенез пародонтита характеризуется нарушением взаимодействия хозяина и условно-патогенных микроорганизмов, что приводит к разрастанию пародонтальных патогенов, в частности *orphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola* и *Tannerella forsythia*, с последующим разрушением ткани пародонта [1]. Вопрос неэффективности врожденного и приобретенного иммунитета при пародонтите до сих пор не изучен в полном объеме [2]. Индивидуальная предрасположенность играет важную роль в развитии пародонтита, и поэтому нельзя недооценивать важность персонализированных превентивных мер для предотвращения развития заболевания.

Частота встречаемости хронических заболеваний тканей пародонта у взрослого населения достигла 98 % [3]. У 52 % населения наблюдаются воспалительные проявления начального характера, тогда как у 24 % населения имеются проявления средней и у 14 % тяжелой степени [4,5]. Высокая распространенность заболеваний пародонта вызвало растущий интерес к изучению взаимосвязи между пародонтитом и системными заболеваниями, включая сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет, ожирение и респираторные инфекции. Пародонтит ассоциирован с системными заболеваниями как прямым, так и косвенным образом. Патогены пародонта могут распространяться непосредственно по всему телу или косвенно воздействовать на системы, удаленные от полости рта, путем стимуляции местных иммунных реакций хозяина, связанных с утечкой медиаторов воспаления в кровотоки и системным провоспалительным праймированием иммунной системы [6]. Взаимосвязь между дисрегуляцией микрофлоры полости рта и системными заболеваниями, особенно респираторными инфекционными заболеваниями, предполагает возможность двунаправленной связи между пародонтитом и пневмонией.

В декабре 2019 года по городу Ухань, Китай, начала распространяться неизвестная пневмония, которая позже была идентифицирована как коронавирусная болезнь 2019 года (COVID-19), вызванная коронавирусом тяжело-острого респираторного синдрома 2 (SARS-CoV-2). Этот вирус быстро распространился по всему миру с такими симптомами, как кашель, одышка, лихорадка, и клиническими проявлениями, варьирующими от бессимптомного течения до острого респираторного дистресс-синдрома (ОРДС) и летального исхода. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила SARS-CoV-2 чрезвычайной ситуацией в области общественного здравоохранения, имеющей международное значение, 30 января

2020 г., а затем в марте 2020 г. объявила его пандемией [7]. Распространение SARS-CoV-2 воздушно-капельным путем актуализировало вопросы о взаимосвязи между вирусом и полостью рта. Ввиду наличия доказательств взаимосвязи между микрофлорой полости рта и пневмонией, в частности аспирационной и вентилятор-ассоциированной, растет интерес к потенциальным двунаправленным связям между пародонтитом и COVID-19.

Пародонтит влияет на возникновение и прогрессирование множества системных заболеваний, не связанных с ротовой полостью. Как правило, пародонтоз недооценивается пациентами и медицинскими работниками; тем не менее, площадь поверхности изъязвленных пародонтальных карманов у пациентов с пародонтитом, по оценкам, достигает размера ладони, что считается значительной областью воспаления, которая потребовала бы срочного медицинского вмешательства, если бы она была в других местах тела [8]. Имеется два механизма, посредством которых бактерии, находящиеся в пародонтальных карманах, могут способствовать развитию системных заболеваний. Прямой путь обусловлен попаданием бактерий в системный кровоток через изъязвленную слизистую оболочку пародонтального кармана во время инвазивных стоматологических процедур или повседневной деятельности, нарушающей его целостность, что приводит к бактериемии [9] с последующей миграцией микроорганизмов к отдаленным органам [10, 11]. Косвенный путь может быть обусловлен продуктами жизнедеятельности бактерий, а также иммунным ответом хозяина на пародонтальные патогены, которые могут играть значительную роль в патогенезе системных воспалительных заболеваний [12,13]. Вероятно, оба механизма одновременно могут играть роль в патогенезе системных заболеваний. Например, при атерогенезе *Porphyromonas gingivalis*, важный патоген пародонтита, продемонстрировал способность взаимодействовать с поверхностью эндотелия и вызывать повреждение его целостности. В то же время повышенный уровень воспалительных цитокинов и сывороточного С-реактивного белка (СРБ) у больных пародонтитом играет роль в эндотелиальной дисфункции [14]. Было установлено, что существует статистически значимый повышенный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, ассоциированных с атеросклерозом, у пациентов с пародонтитом, независимо от других сопутствующих заболеваний [15]. Антигены, ассоциированные с пародонтитом, такие как липополисахариды (ЛПС) и матриксные металлопротеиназы (ММП), способны стимулировать иммунный ответ, приводящий к выработке провоспалительных цитокинов, включая интерлейкины (IL-1 бета, IL-2, IL-6 и IL-8) и СРБ, которые могут приводить к развитию аутоиммунных состояний.

Пародонтит также может приводить к неблагоприятным исходам беременности, когда пародонтальные

бактерии и их эндотоксины попадают в полость матки гематогенным путем, что приводит к развитию внутриутробных инфекций и преждевременной родовой деятельности [16]. Также было доказано, что иммунный ответ, связанный с пародонтитом, влияет на гликемический статус у пациентов с диабетом. Важно отметить, что несколько исследований показали, что лечение пародонтита приводит к улучшению гликемического контроля как у пациентов с преддиабетом, так и у пациентов с сахарным диабетом, причем долгосрочное снижение уровня HbA1c составляло 0,3–0,5 % [17–20]. Отдельное исследование, посвященное оценке частоты развития инсультов у пациентов с пародонтитом, показало, что заболевание пародонта имело прямую корреляцию с развитием кардиоэмболического и тромботического инсульта, а регулярный уход за зубами был ассоциирован с более низким риском инсульта [21]. Результаты всех вышеописанных исследований подтверждают связь между пародонтитом и общим состоянием здоровья человека, что обосновывает важность терапии заболеваний пародонта.

Цель исследования — проанализировать зарубежную литературу, посвященную изучению взаимосвязи пародонтита и респираторных инфекций, включая COVID-19.

Пародонтит и пневмония

Пневмония является одной из групп состояний, для которых обнаруживается все больше доказательств прямой и косвенной связи с пародонтитом. Многие патогены полости рта вызывают легочные инфекции, некоторые из которых совпадают с заболеваниями пародонта, например *Porphyromonas gingivalis*. Одно исследование показало, что респираторные патогены, выделенные у одних и тех же пациентов как в зубном налете, так и в бронхоальвеолярной жидкости, были генетически идентичными [22]. Пневмония — это бактериальная инфекция, которая приводит к воспалению легких. Бактерии, вызывающие пневмонию, могут попасть в легкие путем аспирации из ротовой и носовой полостей, и это часто наблюдается у пациентов с пониженным уровнем сознания или с затрудненным глотанием. Аспирационная пневмония может возникнуть при попадании комменсальных бактерий полости рта, тогда как внутрибольничная инфекция возникает из-за попадания в полость рта чужеродных бактерий, которые могут интегрироваться в зубной налет [23]. А. Sabharwal и соавт. показали, что, хоть бактерии полости рта и могут вызывать пневмонию, доказательства противоречивы, и необходимо проведение более масштабных исследований для дальнейшего выяснения взаимосвязи между патогенами полости рта и пневмонией. Несмотря на то, что было проведено множество исследований для сравнения протоколов гигиены полости рта для снижения риска аспирационной пневмонии в различных условиях, важно отметить, что

многие пациенты поступают в больницы и дома престарелых с повышенным образованием зубного налета из-за неадекватного ухода за полостью рта [23]. Хотя в этих исследованиях не были отражены заболевания пародонта, разумно предположить, что заболеваемость пародонтитом в этих когортах высока.

В Кокрейновском обзоре рассматривались меры по уходу за полостью рта и профилактики пневмонии, приобретенной в домах престарелых. В этом обзоре были обнаружены слабые доказательства того, что профессиональный уход за полостью рта может потенциально снизить риск смертности, связанный с пневмонией, приобретенной в доме престарелых, по сравнению со стандартным уходом за полостью рта [24]. Однако из-за проблем с дизайном исследования к этим доказательствам следует относиться с осторожностью. Для дальнейшего изучения этой взаимосвязи рекомендуется проведение дополнительных исследований. Предлагаемый механизм этого профессионального ухода за полостью рта заключался в механическом удалении зубного налета и, следовательно, микробных отложений у пожилых пациентов. У ослабленных пожилых людей чаще выявлялись грамотрицательные бактерии, что еще больше подчеркивает важность гигиены полости рта [25, 26].

Точно так же пациенты в критическом состоянии, находящиеся на искусственной вентиляции легких (ИВЛ) в течение не менее 48 часов, подвержены риску развития вентиляционно-ассоциированной пневмонии (ВАП). Кокрейновский обзор, в котором оценивалось влияние гигиены полости рта на заболеваемость ВАП, обнаружил высокий уровень доказательств из 18 рандомизированных контролируемых исследований (2451 участник, 86 % взрослых), что уход за полостью рта, включающий использование ополаскивателя или геля с хлоргексидином, снижает риск ВАП с 24 до 18 % [27]. Однако существенных различий в летальных исходах, продолжительности ИВЛ или продолжительности пребывания в отделении интенсивной терапии обнаружено не было. Считается, что у этих пациентов с большей вероятностью развитие инфекции зависит от образования зубного налета у пациентов в критическом состоянии из-за неадекватной гигиены полости рта. Считается, что фактический механизм инфекции связан либо с эндотрахеальной трубкой, служащей путем для инфекции из ротовой полости в легкие, либо с микроаспирацией, которая может произойти вокруг уплотнения эндотрахеальной трубки.

Пародонтит и респираторные инфекции имеют общий воспалительный патогенез и факторы риска, одним из которых является курение. Курение повышает восприимчивость и риск заражения, вызывая иммунную дисфункцию и нарушение васкуляризации [28]. Существуют убедительные доказательства того, что курение тесно связано с острыми и хроническими респиратор-

ными инфекциями, включая пневмонию [29]. Курение также является значимым фактором риска и модификатором проявления пародонтита. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что курение приводит к изменению поддесневого микробного сообщества и способствует колонизации пародонтальных патогенов [30]. Несоблюдение гигиены полости рта в сочетании с другими факторами, такими как курение, может способствовать прогрессированию и обострению легочных заболеваний у лиц, входящих в группу риска.

В целом, имеющиеся данные подтверждают идею о том, что неадекватная гигиена полости рта и повышенная микробная нагрузка могут подвергать пациентов более высокому риску развития пневмонии, что вызывает необходимость принятия мер для контроля микрофлоры полости рта. Полоскания хлоргексидином можно рассматривать для контроля микрофлоры, а аэрозоли должны быть сведены к минимуму при стоматологических процедурах, чтобы снизить риск аспирации. Для дальнейшего изучения связи между тяжестью заболеваний пародонта и риском респираторных инфекций необходимо проведение дополнительных исследований.

Пародонтит и COVID-19

Поскольку пандемия COVID-19 продолжается, появляется больше данных о потенциальной связи между пародонтитом и COVID-19. Однако эти данные не являются окончательными. Разумно предположить, что, как и при аспирационной пневмонии, распространение вируса из полости рта может способствовать заражению SARS-CoV-2. Двумя самыми ранними и часто регистрируемыми симптомами инфекции SARS-CoV-2 являются потеря вкуса и обоняния. Ранние сообщения о потере вкуса и обоняния во время инфекции SARS-CoV-2 были дополнительно подтверждены выводами о том, что эпителиальные клетки ротовой полости могут воспроизводить вирус [31]. Вкусовые рецепторы (TRC — Taste receptor cells) на языке экспрессируют ACE2, с которым связывается SARS-CoV-2, а также катепсин и протеазу, которые способствуют этому связыванию. TRC I, поддерживающие клетки других TRC, также экспрессируют ACE2 и, таким образом, могут быть нацелены на SARS-CoV-2. Без этих поддерживающих клеток клеточная гибель может происходить в других TRC, что приводит к снижению вкусовых сигналов. Вирусная инвазия SARS-CoV-2 в TRC является только одним из возможных путей проникновения SARS-CoV-2 в ротовую полость.

Первично вирус проникает в клетки через рецептор ACE2. Перед инвазией фурины и TMPRSS2 расщепляют S-протеин SARS-CoV-2 на S1 и S2, S1 связывается с ACE2 и проникает в клетку. ACE2 экспрессируется во многих органах, включая легкие, почки, сердце, печень и кишечник. Исследование с использованием мышиной мо-

дели COVID-19 показало, что повышенная экспрессия ACE2 увеличивает тяжесть течения инфекции, вызванной SARS-CoV-2, указывая то, что проникновение вируса в клетку является шагом, ограничивающим скорость вирулентности [32]. В более новом исследовании использовали два набора данных секвенирования одно-клеточной РНК малых слюнных желез и десен человека, и было обнаружено, что ACE2 и TMPRSS в избытке присутствуют в малых слюнных железах и слизистой оболочке полости рта, что делает их потенциальными входными воротами для SARS-CoV-2 [33].

Кроме того, капельная ПЦР показала, что SARS-CoV-2 можно обнаружить в основном в малых слюнных железах. Протоки и ацинусы, инфицированные SARS-CoV-2, также содержали реплицирующиеся вирусы, соответственно малые слюнные железы могут быть источником SARS-CoV-2 в слюне, где вирус может реплицироваться, выживать и в последующем распространяться. Авторы также показали, что слюна бессимптомных носителей содержала SARS-CoV-2, который мог передаваться воздушно-капельным путем, а количество вирусной нагрузки в слюне коррелировало с наличием вирусных симптомов [33]. Такое присутствие реплицирующегося SARS-CoV-2 в тканях полости рта подтверждает идею о том, что полость рта может служить резервуаром для вируса, который способен связываться с рецепторами ACE2 и проникать в организм человека. Таким образом, необходимо соблюдать гигиену полости рта и проводить пародонтальную терапию для снижения микробной нагрузки в полости рта и потенциального снижения вирусной нагрузки до ограничения распространения заболевания. Другие гипотезы о том, как пародонтит может быть связан с инфекцией SARS-CoV-2, связаны с данными о связи пародонтита с другими респираторными синдромами. Имеются данные, что аспирация патогенных пародонтальных бактерий может увеличить экспрессию ACE2 и привести к продукции воспалительных цитокинов. Кроме того, возможно, пародонтальные бактерии способствуют высвобождению воспалительных цитокинов, которые могут способствовать развитию цитокинового шторма и острого респираторного дистресс-синдрома [34].

Недавние клинические исследования были проведены с целью выявления связи между пародонтитом и SARS-CoV-2. В исследовании, проведенном в Институте последипломного медицинского образования и исследований в Чандиграхе, Индия, участвовали 82 пациента с SARS-CoV-2, которым было проведено пародонтологическое обследование, а также оценка показателей крови [35]. В исследовании оценивались исходы, связанные с SARS-CoV-2, такие как пневмония, смерть, госпитализация и потребность в ИВЛ. Авторы обнаружили, что исходы, связанные с SARS-CoV-2, такие как госпитализация, вспомогательная вентиляция легких и пневмония, уве-

личивались по мере увеличения стадии заболевания пародонта. ИВЛ наиболее часто встречалась у пациентов с пародонтитом III и IV стадии. Чем тяжелее заболевание пародонта, тем выше вероятность использования ИВЛ, госпитализации, смертности и приобретенной пневмонии, связанной с SARS-CoV-2. Примерно 10 % пациентов умерли от SARS-CoV-2, и у этих пациентов также был более тяжелый пародонтит [36]. Из 40 пациентов, перенесших осложнения COVID-19, у 33 был пародонтит средней и тяжелой степени. Расчетное отношение шансов наличия осложнений COVID-19 у пациентов с пародонтитом после поправки на возможные искажающие факторы, включая возраст, пол, курение, ИМТ, диабет и другие сопутствующие заболевания, составило 6,34 для любых осложнений, 17,5 для смерти, 5,57 для госпитализации в отделение интенсивной терапии и 7,31 для потребности в ИВЛ.

Хотя данные, подтверждающие связь между пародонтитом и COVID-19, не являются окончательными, существуют биологические механизмы, связывающие эти заболевания микробного или воспалительного происхождения. Гигиена полости рта и здоровье пародонта могут играть важную роль в предотвращении заражения вирусом SARS-CoV-2, а также в лечении тяжелых инфекций. Кроме того, меры направленные на поддержание гигиены полости рта потенциально могут предотвратить распространение SARS-CoV-2. Как обсуждалось ранее, ротовая полость может служить резервуаром и входными воротами для SARS-CoV-2. SARS-CoV-2 был обнаружен в зубном налете пациентов с симптомами COVID-19 [37], а также в десневой борозде как у бессимптомных носителей, так и у пациентов со слабовыраженными симптомами [38]. Эти данные следует учитывать при определении профилактических мер, направленных на предотвращение распространения SARS-CoV-2 в стоматологической практике.

Полоскания полости рта могут оказывать противовоспалительное и антисептическое действие. Кокрейновский обзор показал, что полоскание хлоргексидином в дополнение к гигиене полости рта в течение от 4–6 недель до месяцев уменьшает образование зубного налета [39]. Хлоргексидин является противомикробным средством широкого спектра действия, особенно эффективным в отношении анаэробных микроорганизмов, и используется в качестве антисептического средства для полоскания рта до и после процедур у пациентов с заболеваниями пародонта, вызванными зубным налетом. В концентрациях 0,02–0,06 % хлоргексидин изменяет проницаемость клеточной мембраны бактерий и, таким образом, вызывает лизис клеток. Его часто применяют кратковременно, чтобы уменьшить образование зубно-

го налета и симптомы гингивита, а также с целью снижения аэролизации бактерий [40]. Систематический обзор, выполненный S. Mohd-Said и соавт., показал, что полоскание хлоргексидином перед процедурой значительно снижает постпроцедурную бактериальную обсемененность [41]. Другой систематический обзор, в котором изучалась вирулицидная активность хлоргексидина, продемонстрировал наличие высокой эффективности в отношении простого герпеса типа 1 (HSV-1) и гриппа А, но более низкую эффективность против коронавирусов человека, включая SARS-CoV-2 [42]. Несколько РКИ продемонстрировали, что хлоргексидин может временно снизить вирусную нагрузку SARS-CoV-2 у пациентов с COVID-19. Ополаскиватели на основе эфирных масел также обладают противовоспалительным эффектом и помогают предотвратить накопление зубного налета [43]. Другим широко используемым ополаскивателем для полости рта является перекись водорода, окислитель, который может снизить вирусную нагрузку [44]. Несмотря на небольшое количество данных о влиянии полосканий рта на SARS-CoV-2, в настоящее время проводятся многочисленные исследования, посвященные изучению влияния полосканий рта на эффективность лечения пациентов, а также на защиту медицинских работников, работающих с пациентами, инфицированными SARS-CoV-2 [45]. Таким образом, существует потенциальная польза от использования ополаскивателей рта для снижения вирусной нагрузки SARS-CoV-2. Однако доказательства все еще ограничены и неубедительны.

Заключение

Пародонтит — это хроническое воспалительное заболевание, непосредственно связанное с множественными системными заболеваниями, включая респираторные инфекции. Оральные патогены, включая пародонтальные патогенные бактерии, могут попасть в легкие посредством аспирации. С начала пандемии появились предположения, что пародонтит также имеет прямую связь с COVID-19. Большое количество доказательств продемонстрировало, что ротовая полость является источником патогенов, которые могут распространяться гематогенным путем. За последний год появляется все больше данных о том, что несколько участков полости рта, включая пародонтальные карманы, могут содержать и воспроизводить SARS-CoV-2, что требует дополнительных исследований для выяснения связи между пародонтитом и COVID-19. Кроме того, следует принимать меры по уходу за полостью рта, чтобы снизить микробную нагрузку и риск распространения SARS-CoV-2, а также заболеваемость респираторными инфекциями в более глобальном смысле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mysak J, Podzimek S, Sommerova P, Lyuya-Mi Y, Bartova J, Janatova T, Prochazkova J, Duskova J. Porphyromonas gingivalis: major periodontopathic pathogen overview. *J Immunol Res*. 2014. Vol. 2014. P. 476068. doi: 10.1155/2014/476068.
2. Van Dyke TE, Sima C. Understanding resolution of inflammation in periodontal diseases: Is chronic inflammatory periodontitis a failure to resolve? *Periodontol* 2000. 2020. Vol. 82, N 1. P. 205–213. doi: 10.1111/prd.12317.
3. Микляев С.В., Леонова О.М., Сущенко А.В. Анализ распространенности хронических воспалительных заболеваний тканей пародонта. Современные проблемы науки и образования. 2018. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27454> (дата обращения: 01.11.2022).
4. GBD 2017 Oral Disorders Collaborators, Bernabe E, Marcenes W, Hernandez CR, Bailey J, Abreu LG, Alipour V, Amini S, Arabloo J, Arefi Z, Arora A, Ayanore MA, Bärnighausen TW, Bijani A, Cho DY, Chu DT, Crowe CS, Demoz GT, Demisie DG, Dibaji Forooshani ZS, Du M, El Tantawi M, Fischer F, Folleyan MO, Futran ND, Geramo YCD, Haj-Mirzaian A, Hariyani N, Hasanzadeh A, Hassanipour S, Hay SI, Hole MK, Hostiuc S, Ilic MD, James SL, Kalhor R, Kemmer L, Keramati M, Khader YS, Kisa S, Kisa A, Koyanagi A, Laloo R, Le Nguyen Q, London SD, Manohar ND, Massenburg BB, Mathur MR, Meles HG, Mestrovic T, Mohammadian-Hafshejani A, Mohammadpourhodki R, Mokdad AH, Morrison SD, Nazari J, Nguyen TH, Nguyen CT, Nixon MR, Olagunju TO, Pakshir K, Pathak M, Rabiee N, Rafiei A, Ramezanzadeh K, Rios-Blancas MJ, Roro EM, Sabour S, Samy AM, Sawhney M, Schwendicke F, Shaahmadi F, Shaikh MA, Stein C, Tovani-Palone MR, Tran BX, Unnikrishnan B, Vu GT, Vukovic A, Warouw TSS, Zaidi Z, Zhang ZJ, Kassebaum NJ. Global, Regional, and National Levels and Trends in Burden of Oral Conditions from 1990 to 2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease 2017 Study. *J Dent Res*. 2020. Vol. 99, N 4. P. 362–373. doi: 10.1177/0022034520908533.
5. Eke PI, Thornton-Evans GO, Wei L, Borgnakke WS, Dye BA, Genco RJ. Periodontitis in US Adults: National Health and Nutrition Examination Survey 2009–2014. *J Am Dent Assoc*. 2018. Vol. 149, N 7. P. 576–588. doi: 10.1016/j.adaj.2018.04.023.
6. Hegde R, Awan KH. Effects of periodontal disease on systemic health. *Dis Mon*. 2019. Vol. 65, N 6. P. 185–192. doi: 10.1016/j.disamonth.2018.09.011.
7. Sohrabi C, Alsafi Z, O'Neill N, Khan M, Kerwan A, Al-Jabir A, Iosifidis C, Agha R. World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *Int J Surg*. 2020. Vol. 76. P. 71–76. doi: 10.1016/j.ijsu.2020.02.034.
8. Brock M, Bahammam S, Sima C. The Relationships Among Periodontitis, Pneumonia and COVID-19. *Front Oral Health*. 2022. Vol. 2. P. 801815. doi: 10.3389/froh.2021.801815.
9. Dhotre SV, Davane MS, Nagoba BS. Periodontitis, bacteremia and infective endocarditis: a review study. *Arch Pediatr Infect Dis*. 2017. Vol. 5. P. e41067. doi: 10.5812/pedinfect.41067
10. Ohki T, Itabashi Y, Kohno T, Yoshizawa A, Nishikubo S, Watanabe S, Yamane G, Ishihara K. Detection of periodontal bacteria in thrombi of patients with acute myocardial infarction by polymerase chain reaction. *Am Heart J*. 2012. Vol. 163, N 2. P. 164–167. doi: 10.1016/j.ahj.2011.10.012.
11. Haraszthy VI, Zambon JJ, Trevisan M, Zeid M, Genco RJ. Identification of periodontal pathogens in atheromatous plaques. *J Periodontol*. 2000. Vol. 71, N 10. P. 1554–1560. doi: 10.1902/jop.2000.71.10.1554.
12. Irwandi RA, Chiesa ST, Hajishengallis G, Papayannopoulos V, Deanfield JE, D'Aiuto F. The Roles of Neutrophils Linking Periodontitis and Atherosclerotic Cardiovascular Diseases. *Front Immunol*. 2022. Vol. 13. P. 915081. doi: 10.3389/fimmu.2022.915081.
13. Linden GJ, McClean K, Young I, Evans A, Kee F. Persistently raised C-reactive protein levels are associated with advanced periodontal disease. *J Clin Periodontol*. 2008. Vol. 35, N 9. P. 741–747. doi: 10.1111/j.1600-051X.2008.01288.x.
14. Amar S, Gokce N, Morgan S, Loukideli M, Van Dyke TE, Vita JA. Periodontal disease is associated with brachial artery endothelial dysfunction and systemic inflammation. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2003. Vol. 23, N 7. P. 1245–1249. doi: 10.1161/01.ATV.0000078603.90302.4A.
15. Tonetti MS, Van Dyke TE; Working group 1 of the joint EFP/AAP workshop. Periodontitis and atherosclerotic cardiovascular disease: consensus report of the Joint EFP/AAP Workshop on Periodontitis and Systemic Diseases. *J Clin Periodontol*. 2013. Vol. 40, N 14. P. 24–29. doi: 10.1111/jcpe.12089.
16. Gibbs RS. The relationship between infections and adverse pregnancy outcomes: an overview. *Ann Periodontol*. 2001. Vol. 6, N 1. P. 153–163. doi: 10.1902/annals.2001.6.1.153.
17. Needleman I, Wild SH, Moles DR, Stevenson B, Furness S, Iheozor-Ejiofor Z. Treatment of periodontal disease for glycaemic control in people with diabetes mellitus. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015. Vol. 2015, N 11. P. CD004714. doi: 10.1002/14651858.CD004714.pub3
18. D'Aiuto F, Gkraniias N, Bhowruth D, Khan T, Orlandi M, Suvan J, Masi S, Tsakos G, Hurel S, Hingorani AD, Donos N, Deanfield JE; TASTE Group. Systemic effects of periodontitis treatment in patients with type 2 diabetes: a 12 month, single-centre, investigator-masked, randomised trial. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2018. Vol. 6, N 12. P. 954–965. doi: 10.1016/S2213-8587(18)30038-X.
19. Sanz M, Ceriello A, Buyschaert M, Chapple I, Demmer RT, Graziani F, Herrera D, Jepsen S, Lione L, Madianos P, Mathur M, Montanya E, Shapira L, Tonetti M, Vegh D. Scientific evidence on the links between periodontal diseases and diabetes: Consensus report and guidelines of the joint workshop on periodontal diseases and diabetes by the International Diabetes Federation and the European Federation of Periodontology. *J Clin Periodontol*. 2018. Vol. 45, N 2. P. 138–149. doi: 10.1111/jcpe.12808.
20. Kocher T, Holtfreter B, Petersmann A, Eickholz P, Hoffmann T, Kaner D, Kim TS, Meyle J, Schlagenhauf U, Doering S, Gravemeier M, Prior K, Rathmann W, Harks I, Ehmke B, Koch R. Effect of Periodontal Treatment on HbA1c among Patients with Prediabetes. *J Dent Res*. 2019. Vol. 98, N 2. P. 171–179. doi: 10.1177/0022034518804185.
21. Sen S, Giamberardino LD, Moss K, Morelli T, Rosamond WD, Gottesman RF, Beck J, Offenbacher S. Periodontal Disease, Regular Dental Care Use, and Incident Ischemic Stroke. 2018. Vol. 49, N 2. P. 355–362. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.018990.
22. Bui FQ, Almeida-da-Silva CLC, Huynh B, Trinh A, Liu J, Woodward J, Asadi H, Ojcius DM. Association between periodontal pathogens and systemic disease. *Biomed J*. 2019. Vol. 42, N 1. P. 27–35. doi: 10.1016/j.bj.2018.12.001.
23. Sabharwal A, Gomes-Filho IS, Stellrecht E, Scannapieco FA. Role of periodontal therapy in management of common complex systemic diseases and conditions: An update. *Periodontol* 2000. 2018. Vol. 78, N 1. P. 212–226. doi: 10.1111/prd.12226.

24. Liu C, Cao Y, Lin J, Ng L, Needleman I, Walsh T, Li C. Oral care measures for preventing nursing home-acquired pneumonia. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018. Vol. 9, N 9. P. CD012416. doi: 10.1002/14651858.CD012416.pub2.
25. Smithard DG, Yoshimatsu Y. Pneumonia, Aspiration Pneumonia, or Frailty-Associated Pneumonia? *Geriatrics (Basel).* 2022. Vol. 7, N 5. P. 115. doi: 10.3390/geriatrics7050115.
26. Leibovitz A, Plotnikov G, Habet B, Rosenberg M, Segal R. Pathogenic colonization of oral flora in frail elderly patients fed by nasogastric tube or percutaneous enterogastric tube. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2003. Vol. 58, N 1. P. 52–55. doi: 10.1093/gerona/58.1.m52.
27. Hua F, Xie H, Worthington HV, Furness S, Zhang Q, Li C. Oral hygiene care for critically ill patients to prevent ventilator-associated pneumonia. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016. Vol. 10, N 10. P. CD008367. doi: 10.1002/14651858.CD008367.pub3.
28. Lee J, Taneja V, Vassallo R. Cigarette smoking and inflammation: cellular and molecular mechanisms. *J Dent Res.* 2012. Vol. 91, N 2. P. 142–149. doi: 10.1177/0022034511421200.
29. Li Y, Luk TT, Wu Y, Cheung DYT, Li WHC, Tong HSC, Lai VVW, Ho SY, Lam TH, Wang MP. High Perceived Susceptibility to and Severity of COVID-19 in Smokers Are Associated with Quitting-Related Behaviors. *Int J Environ Res Public Health.* 2021. Vol. 18, N 20. P. 10894. doi: 10.3390/ijerph182010894.
30. Jiang Y, Zhou X, Cheng L, Li M. The Impact of Smoking on Subgingival Microflora: From Periodontal Health to Disease. *Front Microbiol.* 2020. Vol. 11. P. 66. doi: 10.3389/fmicb.2020.00066.
31. Cooper KW, Brann DH, Farruggia MC, Bhutani S, Pellegrino R, Tsukahara T, Weinreb C, Joseph PV, Larson ED, Parma V, Albers MW, Barlow LA, Datta SR, Di Pizio A. COVID-19 and the Chemical Senses: Supporting Players Take Center Stage. *Neuron.* 2020. Vol. 107, N 2. P. 219–233. doi: 10.1016/j.neuron.2020.06.032.
32. Rezaei M, Ziai SA, Fakhri S, Pouriran R. ACE2: Its potential role and regulation in severe acute respiratory syndrome and COVID-19. *J Cell Physiol.* 2021. P. 236, N 4. P. 2430–2442. doi: 10.1002/jcp.30041.
33. Huang N, Pérez P, Kato T, Mikami Y, Okuda K, Gilmore RC, Conde CD, Gasmi B, Stein S, Beach M, Pelayo E, Maldonado JO, Lafont BA, Jang SI, Nasir N, Padilla RJ, Murrah VA, Maile R, Lovell W, Wallet SM, Bowman NM, Meinig SL, Wolfgang MC, Choudhury SN, Novotny M, Aevermann BD, Scheuermann RH, Cannon G, Anderson CW, Lee RE, Marchesan JT, Bush M, Freire M, Kimple AJ, Herr DL, Rabin J, Grazioli A, Das S, French BN, Pranzatelli T, Chiorini JA, Kleiner DE, Pittaluga S, Hewitt SM, Burbelo PD, Chertow D; NIH COVID-19 Autopsy Consortium; HCA Oral and Craniofacial Biological Network, Frank K, Lee J, Boucher RC, Teichmann SA, Warner BM, Byrd KM. SARS-CoV-2 infection of the oral cavity and saliva. *Nat Med.* 2021. Vol. 27, N 5. P. 892–903. doi: 10.1038/s41591-021-01296-8.
34. Takahashi Y, Watanabe N, Kamio N, Kobayashi R, Iinuma T, Imai K. Aspiration of periodontopathic bacteria due to poor oral hygiene potentially contributes to the aggravation of COVID-19. *J Oral Sci.* 2020. Vol. 63, N 1. P. 1–3. doi: 10.2334/josnusd.20-0388.
35. Gupta S, Mohindra R, Singla M, Khera S, Sahni V, Kanta P, Soni RK, Kumar A, Gauba K, Goyal K, Singh MP, Ghosh A, Kajal K, Mahajan V, Bhalla A, Sorsa T, Räisänen I. The clinical association between Periodontitis and COVID-19. *Clin Oral Investig.* 2022. Vol. 26, N 2. P. 1361–1374. doi: 10.1007/s00784-021-04111-3.
36. Marouf N, Cai W, Said KN, Daas H, Diab H, Chinta VR, Hssain AA, Nicolau B, Sanz M, Tamimi F. Association between periodontitis and severity of COVID-19 infection: A case-control study. *J Clin Periodontol.* 2021. Vol. 48, N 4. P. 483–491. doi: 10.1111/jcpe.13435.
37. Anand PS, Jadhav P, Kamath KP, Kumar SR, Vijayalaxmi S, Anil S. A case-control study on the association between periodontitis and coronavirus disease (COVID-19). *J Periodontol.* 2022. Vol. 93, N 4. P. 584–590. doi: 10.1002/JPER.21-0272.
38. Gomes SC, Fachin S, da Fonseca JG, Angst PDM, Lamers ML, da Silva ISB, Nunes LN. Dental biofilm of symptomatic COVID-19 patients harbours SARS-CoV-2. *J Clin Periodontol.* 2021. Vol. 48, N 7. P. 880–885. doi: 10.1111/jcpe.13471.
39. James P, Worthington HV, Parnell C, Harding M, Lamont T, Cheung A, Whelton H, Riley P. Chlorhexidine mouthrinse as an adjunctive treatment for gingival health. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017. Vol. 3, N 3. P. CD008676. doi: 10.1002/14651858.CD008676.pub2.
40. Brookes ZLS, Bescos R, Belfield LA, Ali K, Roberts A. Current uses of chlorhexidine for management of oral disease: a narrative review. *J Dent.* 2020. Vol. 103. P. 103497. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103497.
41. Mohd-Said S, Mohd-Dom TN, Suhaimi N, Rani H, McGrath C. Effectiveness of Pre-procedural Mouth Rinses in Reducing Aerosol Contamination During Periodontal Prophylaxis: A Systematic Review. *Front Med (Lausanne).* 2021;8:600769. doi: 10.3389/fmed.2021.600769.
42. Fernandez MDS, Guedes MIF, Langa GPJ, Rösing CK, Cavagni J, Muniz FWMG. Virucidal efficacy of chlorhexidine: a systematic review. *Odontology.* 2022. Vol. 110(2):376–392. doi: 10.1007/s10266-021-00660-x.
43. Osso D, Kanani N. Antiseptic mouth rinses: an update on comparative effectiveness, risks and recommendations. *J Dent Hyg.* 2013. Vol. 87, N 1. P. 10–18.
44. Vergara-Buenaventura A, Castro-Ruiz C. Use of mouthwashes against COVID-19 in dentistry. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2020. Vol. 58, N 8. P. 924–927. doi: 10.1016/j.bjoms.2020.08.016.
45. Burton MJ, Clarkson JE, Goulao B, Glenny AM, McBain AJ, Schilder AG, Webster KE, Worthington HV. Antimicrobial mouthwashes (gargling) and nasal sprays administered to patients with suspected or confirmed COVID-19 infection to improve patient outcomes and to protect healthcare workers treating them. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020. Vol. 9, N 9. P. CD013627. doi: 10.1002/14651858.CD013627.pub2.

Наши авторы

Abramova E. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Siberian University of Consumer Cooperation (Novosibirsk)

Almuntafeki Asel' Faris Marzug — post-graduate student University of Science and Technology

Asfandiyarova I. — Bashkir state medical university, Ufa

Azizova D. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kazan Federal University

Bandovkina A. — Stavropol State Medical University

Bashmakov N. — Graduate student, Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow

Bazhenov R. — Ph.D, Associate Professor, Amur State University named after A.I. Sholom Aleichem (Birobidzhan)

Borisova E. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, (Yakutsk)

Chavez Quiroz Gabriela Guadalupe — postgraduate student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Chertkoeva M. — Associate Professor of the Department of Microbiology, Candidate of Medical Sciences, North Ossetian State Medical Academy of the Ministry of Health of Russia

Didenko G. — Ph.D., Associate Professor, South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Chelyabinsk)

Dorofeev A. — Ph.D, Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University

Dumaev R. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Efremova A. — Senior lecturer, Penza State University

Elin V. — PhD, Associate Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation; Associate Professor, MOSU of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Ya. Kikot

Evsyukov D. — Postgraduate Student, Belgorod State National Research University; Head of the Laboratory «Digital Platforms for Engineering Solutions Support» of Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Our authors

Frolova K. — Senior lecturer, Penza State University

Gorbachev A. — Doct. Sci (Biol.), Professor of the Department of Valeology, Northeastern State University, (Magadan)

Hafizov R. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Kazan Federal University

Hashimov R. — PhD, Azerbaijan Medical University

Iskenderov T. — Ph.D., Institute of Zoology ANAS

Ivannikova R. — Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K. I. Skryabin, Moscow

Ivanova S. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Molecular Genetics and Biochemistry, deputy Research Director of the Mental Health Research Institute Tomsk NIMC

Ivanova T. — Resident, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, (Yakutsk)

Kabisova A. — North Ossetian State Medical Academy

Kalinina E. — Graduate student, North Ossetian State Medical Academy

Kanibolotskaya Yu. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Siberian University of Consumer Cooperation (Novosibirsk)

Kanushina Yu. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian University of Consumer Cooperation (Novosibirsk)

Kasyuk S. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Chelyabinsk)

Khafizova P. — Bashkir state medical university, Ufa

Khairutdinova A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kazan Federal University

Kirichuk A. — Doctor of Biology, professor, Director of the Department of Human Ecology and Bioelementology of the Institute of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow)

Komarov R. — MD, Professor, Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow

Konovalov A. — Candidate of agriculture science, Associate Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K.I. Scriabin, Moscow

Konovalova E. — Senior Lecturer, Penza State University

Kornetova E. — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Endogenous Disorders Mental Health Research Institute, Tomsk NIMC

Kubrina L. — Omsk State Pedagogical University

Kupriyanov A. — Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Kuzbass Botanical Garden of the Federal Scientific Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS

Kupriyanov O. — Ph.D., researcher, Kemerovo branch of the Institute of Computational Technologies SB RAS

Lavrinenko M. — Associate Professor, PhD, Financial University under the Government of the Russian Federation

Listkov V. — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Siberian University of Consumer Cooperation (Novosibirsk)

Lomskov M. — Candidate of biological science, Associate Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K.I. Scriabin, Moscow

Makarov D. — Moscow State Linguistic University

Makarova E. — Candidate of biological science, Associate Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K.I. Scriabin, Moscow

Malikhova A. — Bashkir state medical university, Ufa

Manakov Yu. — Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS

Mohmedhussen Alaa Nazeeh Mohmedhussen — Graduate student, MIREA — Russian Technological University», Moscow

Molodyakov S. — Doctor of technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Najafov J. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Baku State University

Nikiforov I. — PhD, Tech., Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Park Sohee — Master student, Pusan National University, Yangsan, Republic of Korea

Patlay N. — Postgraduate student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Petrakov M. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Agrarian University

Petrakova N. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Agrarian University

Petrov A. — Candidate of Medical Sciences, Chita State Medical Academy

Philippovich A. — Bauman Moscow State Technical University

Pokhilyuk N. — Bacteriologist Doctor, State Budgetary Healthcare Institution «Magadan Regional Hospital» (Magadan)

Pozhidaev I. — Researcher of the Molecular Genetics and Biochemistry Laboratory, Mental Health Research Institute, Tomsk NRMС

Reutov A. — Penza State University

Romanov I. — Assistant, graduate student, Chita State Medical Academy

Sabutkevich A. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Savina V. — Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow

Shatilov D. — applicant Kuzbass Botanical Garden of the Federal Scientific Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS

Skvortsova E. — Assistant, Penza State University

Smirnova E. — Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K. I. Skryabin, Moscow

Stepanova O. — Ph.D., Associate Professor, South Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Chelyabinsk)

Sultanova E. — Bashkir state medical university, Ufa

Suvorov A. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering

Tkachev M. — Graduate student, Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow

Tsakoeva A. — Ph.D. of Medical Sciences, North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov

Tsaregorodtsev A. — Doctor of Sciences (Eng.), Professor, Academician of the A.M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow

Ualiyeva R. — PhD (6D060700 — Biology), Associate Professor, Toraigrov University (Pavlodar)

Van Leiden N. — Postgraduate student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Verezubova N. — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin

Vikhlyaev D. — Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Volotovskiy K. — Irkutsk National Research Technical University

Yakupova K. — Resident, Bashkir state medical university, Ufa

Yakupova R. — Bashkir state medical university, Ufa

Zabolotskaya T. — Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K. I. Skryabin, Moscow

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» (e-mail: redaktor@nauteh.ru).