

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№2 2023 (ФЕВРАЛЬ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

Редакция:

Главный редактор
А.В. Царегородцев
Выпускающий редактор
Ю.Б. Миндлин

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>

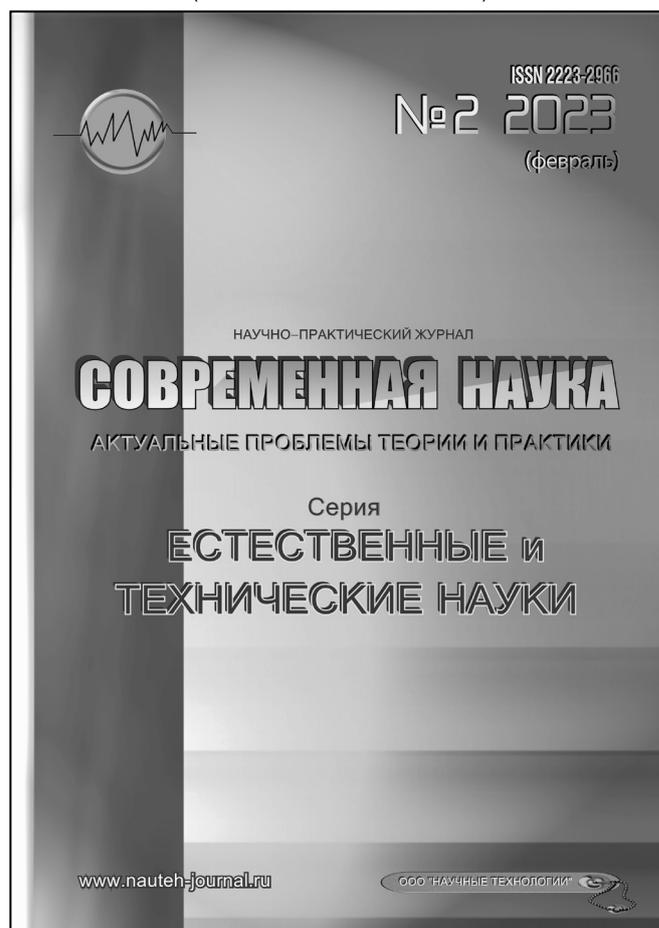
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(BAK – 1.2.2, 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 15.02.2023 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. Серикбаева

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., с.н.с., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Бахшалиева К.Ф., Исмаилова Г.Э., Мамедова М.Ю., Алиева Г.Р. — Видовой состав и гидролазная активность грибов, выделенных из лекарственных растений в условиях Азербайджана

Bakshalieva K., Ismayilova G., Mammadova M., Aliyeva G. — Species composition and hydrolase activity of fungi isolated from medicinal plants under the conditions of Azerbaijan.....7

Гасанова К.З. — Влияние белого, синего и красного света на физиологические и биохимические характеристики генотипов томата

Hasanova K. — Influence of white, blue and red light on the physiological and biochemical characteristics of tomato genotypes.....12

Друп В.Д., Траутвайн С.А., Сейфулина Г.В. — Изменение природной среды и особенности режима особой охраны на территории государственного природного заказника краевого значения «Чограйский»

Drup V., Trautvain S., Seifulina G. — Features of the environmental regime of the Chograi reservoir ..15

Козлова А.А. — Геоинформационные технологии в оценке состояния лесных сообществ среднего Поволжья

Kozlova A. — Geoinformation technologies in assessing the state of forest communities in the middle Volga region.....23

Кулемин Ю.Е., Куприянов А.Н. — Изучение близкородственных видов рода *achillea* l. флоры Сибири молекулярно-генетическими методами

Kulemin Yu., Kuprijanov A. — Study of closely related species of the genus *achillea* l. flora of Siberia by molecular genetic methods.....31

Мачигов Э.А., Джамбетова П.М., Абилев С.К. — Изучение генотоксичности диоксидина на *caenorhabditis elegans* методом гель-электрофореза

Machigov E., Dzhambetova P., Abilev S. — Study of genotoxicity of dioxidin on *caenorhabditis elegans* by gel electrophoresis.....38

Млынар Е.В. — Сохранение озера Амут путем охраны прилегающих к нему экосистем

Mlynar Ev. — Conservation of Lake Amut by protecting the surrounding ecosystems43

Суменкова О.А., Гузеева С.А., Стрельцов Р.М. — Оценка состояния зелёных зон в центральной части города Тюмени

Sumenkova O., Guzeeva S., Streltsov R. — Assessment of the state of green areas in the central part of the city of Tyumen49

Томшин Е.А. — К вопросу об общественном мониторинге биосферных объектов

Tomshin Ev. — On the issue of public monitoring of biosphere objects55

Чадова И.Н., Макарова Е.В. — Оценка влияния газотранспортной системы на экологическую ситуацию Ставропольского края в период с 2017 по 2021 гг

Chadova I., Makarova E. — Assessment of the gas transmission system's impact on the Stavropol territory's environmental situation from 2017 to 2021.....60

Шапвалов С.Г., Козьмин Г.В. — Биологическое действие «горячих» радиоактивных частиц на желудочно-кишечный тракт моногастричных животных

Shapovalov S., Kozmin G. — Biological effect of «hot» radioactive particles on the gastrointestinal tract of monogastric animals.....66

Информатика, вычислительная техника и управление

Афанасьев С.Д., Воронин Т.В., Коврова Е.С., Раков Д.А. — Мировые практики использования технологий анализа больших данных для мониторинга и прогнозирования рисков загрязнения океанических вод

Afanasyev S., Voronin T., Kovrova E., Rakov D. — Global practices of using big data analysis technologies for monitoring and forecasting ocean water pollution risks... 74

Воржев В.Б., Тринц Д.В., Калмыкова К.Ф., Романов Д.Л. — Определение параметров диодов выпрямительных схем при их работе от сетевого трансформатора при заданном токе нагрузки <i>Vorzhev V., Trints D., Ksenia F., Romanov D.</i> — Determination of the parameters of diodes of rectification circuits when their operation from a network transformer at a given load current.79	Михаэлис В.В., Михаэлис С.И. — Методы стеганографии, реализуемые в текстовых документах MS Word при работе со стандартными (не специализированными) программами <i>Mikhaelis V., Mikhaelis S.</i> — Steganography technique realised in MS Word documents implemented with standard (non-specialised) programs127
Гришмановская О.Н., Гришмановский П.В. — Перспективы применения связанных открытых данных в сфере образования <i>Grishmanovskaya O., Grishmanovsky P.</i> — Outlook for related open data in education85	Наумов М.А., Михалёва Т.Н., Чискидов С.В. — Функциональные модели процессов управления корпоративными вычислительными ресурсами образовательной организации <i>Naumov M., Mikhaleva T., Chiskidov S.</i> — Functional models of management processes of corporate computing resources of educational organization131
Жданов П.С. — Классификация контекстно-зависимых рекомендательных систем для рекомендации точек интереса <i>Zhdanov P.</i> — Classification of context-dependent recommender systems for recommending points of interest.90	Тымчук А.И. — Методика контроля достоверности данных приборов учёта в АСКУЭ, на основе прогнозирующей модели электропотребления <i>Tymchuck A.</i> — Reliability control method for data from AMR metering devices, based on a forecasting power consumption model140
Жигульский В.Е. — Конвертация пакетов учебных материалов по спецификации SCORM в xAPI и eSCORM <i>Zhigulsky V.</i> — Conversion of packages of educational materials according to the SCORM specification to xAPI and eSCORM96	
Ляшенко К.А., Поркшеян В.М., Черкесова Л.В., Ревякина Е.А., Енгибарян И.А., Бурякова О.С., Решетникова О.А. — Модификация классического квантового протокола bb84, повышающая его характеристики <i>Lyashenko K., Porksheyan V., Cherkesova L., Revyakina E., Yengibaryan I., Buryakova O., Reshetnikova O.</i> — Modification of the classical quantum protocol bb84, increasing its characteristics 100	
Магомедов К.А. — Математическая модель информационного влияния <i>Magomedov K.</i> — Mathematical model of information influence116	
Максимов Ю.М., Касымов А.А. — Особенности разработки функционального компонента информационной системы, реализующего распознавание текстовой информации <i>Maximov Yu., Kasymov A.</i> — Features of the development of a functional component of an information system that implements the recognition of textual information122	
	Клиническая медицина
	Агапова М.А., Харитонов Д.Ю., Филин А.А., Самойленко Т.В. — Особенности острых гнойных лимфаденитов челюстно-лицевой области и шеи у детей на фоне инфекции вируса Эпштейна-Барр, диагностическая роль онкомаркера LMP-1 <i>Agarova M., Kharitonov D., Filin A., Samoylenko T.</i> — Features of acute purulent lymphadenitis of the maxillofacial region and neck in children against the background of infection with the Epstein-Barr virus, the diagnostic role of the oncomarker LMP-1154
	Атаев А.Р., Атаев Э.А., Атаева Л.А., Каллаев Н.О., Магарамов А.М., Мирзоев Н.Э. — Комплексное лечение раневой инфекции при огнестрельных ранениях и ее объективные критерии эффективности <i>Ataev A., Ataev E., Ataeva L., Kallaev R., Magaramov A.</i> — Comprehensive treatment of wound infection in gunshot wounds and its objective criteria for effectiveness159

- Бучнева В.О., Гуревич Ю.Ю., Орешака О.В., Швец М.В.** — Обновлённые данные об эффективности лечебно-профилактических мероприятий при возникновении повышенной стираемости твердых тканей зубов и её осложнений у молодых людей, занимающихся атлетической гимнастикой
Buchneva V., Gurevich Yu., Oreshaka O., Shvets M. — Updated on the effectiveness of therapeutic and preventive measures in the event of increased erasability of hard dental tissues and its complications in young people engaged in athletic gymnastics166
- Васильева Н.А., Пуздырева М.Н., Рожкова М.Г., Фищев С.Б., Севастьянов А.В., Орлова И.В., Шишко Т.В., Кузьмина Л.В.** — Оценка методов исследования нормодонтных зубных дуг мезогнатического типа
Vasilyeva N., Puzdyreva M., Rozhkova M., Fischev S., Sevastyanov A., Orlova I., Shishko T., Kuzmina L. — Evaluation of methods for the study of normodontic dental arches of mesognathic type170
- Дзгоева М.Г., Ремизова А.А., Кокоев А.Б., Дзгоева З.Г., Канукова Л.С., Сакаева З.У., Сакаева К.У.** — Особенности местного иммунитета полости рта у пациентов с первичной артериальной гипотензией
Dzgoeva M., Remizova A., Kokoev A., Dzgoeva Z., Kanukova L., Sakaeva Z., Sakaeva K. — Features of local oral immunity in patients with primary arterial hypotension175
- Злобина Е.А.** — Структура обращаемости к амбулаторному хирургу с заболеваниями стоп и ногтей и их профилактика
Zlobina E. — Structure of appointment to an outpatient surgeon for foot and nails diseases and their prevention180
- Иванова Т.А., Коган М.Я., Нечаева Ю.С., Петушков И.Л.** — Эффективность комплексного лечения трубно-перитонеального бесплодия с применением иммуномодулирующей терапии
Ivanova T., Kogan M., Nechaeva Yu., Petushkov I. — Effectiveness of complex treatment of tube-peritoneal infertility with the use of immunomodulatory therapy183
- Карпин В.А., Шувалова О.И., Соколов В.Д.** — Коморбидные заболевания у больных с гнойно-хирургической патологией
Karpin V., Shuvalova O., Sokolov V. — Comorbid diseases in patients with purulent-surgical pathology.186
- Каруцкая О.А., Сердюкова А.В., Брижанева А.С.** — Клеточные механизмы развития фиброза
Karutskaya O., Serdyukova A., Brizhaneva A. — Cellular mechanisms of fibrosis development193
- Кипятков Н.Ю., Бельская К.А.** — Перспективы компьютерной обработки электроэнцефалографии с подсчётом спектральной мощности при скрининговых обследованиях
Kipyatkov N., Belskaya K. — Prospects of computer processing of electroencephalography with spectral power calculation during screening examinations.202
- Кишкань А.А.** — Состояние микробиоценоза ротовой полости у потребителей электронных сигарет и систем нагревания табака
Kishkan A. — State of microbiocenosis of the mouth of the consumers of electronic cigarettes and tobacco heating systems207
- Комаров Р.Н., Мацуганов Д.А., Нуждин М.Д.** — Непосредственные результаты выполнения процедуры криоабляции предсердий в сочетании с коррекцией порока митрального клапана
Komarov R., Matsuganov D., Nuzhdin M. — The immediate results of atrial cryoablation procedure in combination with correction of mitral valve pathology212
- Комаров Р.Н., Мацуганов Д.А., Нуждин М.Д.** — Дооперационная оценка риска рецидива фибрилляции предсердий после процедуры криоабляции по схеме «Лабиринт» и коррекции порока митрального клапана с помощью прогностической модели (пилотное исследование)
Komarov R., Matsuganov D., Nuzhdin M. — Preoperative assessment of the risk atrial fibrillation recurrence after the cryoablation procedure and correction of mitral valve pathology using a prognostic model (pilot study)222

<p>Кондратюк А.А., Пузырева М.Н., Рожкова М.Г., Фищев С.Б., Севастьянов А.В., Попов В.П., Белогорцева А.Н., Фернандо Н.В. — Особенности размеров зубов у людей с нормодонтным брахигнатическим типом зубных дуг <i>Kondratyuk A., Puzdyreva M., Rozhkova M., Fischev S., Sevastyanov A., Popov V., Belogortseva A., Fernando N.</i> — Features of tooth sizes in people with normodont brachygnathic type of dental arches228</p> <p>Ляшенко Е.Н., Чотчаев Р.М., Добычина М.В. — Клиническое наблюдение острого нарушения мозгового кровообращения по геморрагическому типу во время беременности <i>Lyashenko E., Chotchaev R., Dobychina M.</i> — Clinical observation of acute cerebrovascular accident by hemorrhagic type during pregnancy233</p> <p>Нуриева Н.С., Беляков Г.И. — Применение раман-флуоресцентной технологии для оценки минерализации твердых тканей зуба при изменениях эмали зуба, обусловленных лучевой терапией <i>Nurieva N., Belyakov G.</i> — The use of Raman fluorescence technology to assess the mineralization of hard tissues of the tooth with changes in tooth enamel caused by radiation therapy240</p>	<p>Фазез Афсун, Сафонов Н.В., Стеклов А.С., Файбушевич А.Г., Баранович В.Ю. — Радиочастотная абляция высокой мощности с применением индекса абляции у пациентов с фибрилляцией предсердий <i>Fayez Afsoon, Safonov N., Steklov A., Faybushevich A., Baranovich V.</i> — High power short duration ablation using ablation index (ai) in patients with atrial fibrillation244</p> <p>Шамов И.М., Ахмедова Э.А., Мащилиева М.М., Меджидова Н.М., Кудяева П.Д. — Некоторые особенности распространенности зубных отложений жителей различных климатогеографических зон в зависимости от характеристик питьевой воды <i>Shamov I., Akhmedova E., Mashchilieva M., Medzhidova N., Kudaeva P.</i> — Some features of the prevalence of dental deposits of residents of different climatic and geographical zones depending on the characteristics of drinking water ...251</p> <p style="text-align: center;">Информация</p> <p>Наши авторы. Our Authors256</p> <p>Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале261</p>
--	---

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ГИДРОЛАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

SPECIES COMPOSITION AND HYDROLASE ACTIVITY OF FUNGI ISOLATED FROM MEDICINAL PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF AZERBAIJAN

*K. Bakshaliev
G. Ismayilova
M. Mammadova
G. Aliyeva*

Summary. In the presented work, medicinal plants included in the flora of Azerbaijan were studied in terms of the species composition of mycobiota and the activity of hydrolytic enzymes and the phytotoxicity of some fungi found on these plants. It has been established that the studied plants are the habitat of fungi, among which there are those capable of synthesizing hydrolytic enzymes balanced in activity, degrading host cell walls. It has been shown that the level of activity of proteolytic enzymes can be used as a factor limiting the process of pathogenesis in phytopathogenic fungi, which, for pathogens of secondary mycoses, on the contrary, as a factor contributing to opportunistic actions.

Keywords: medicinal plants, mycobiota, hydrolytic enzymes, phytotoxicity, limiting and contributing factors

Бахшалиева Конул Фарух

*Доктор биологических наук, доцент, Институт
Микробиологии Министерства науки и образования
Азербайджанской Республики, г. Баку
konul.baxsh@mail.ru*

Исмайлова Гунай Элман

*К.б.н., Институт нефтехимических процессов
имени Ю. Мамедалиева Министерства науки
и образования Азербайджанской Республики
azmbi@mail.ru*

Мамедова Мехрибан Юсиф

*Диссертант, Институт Микробиологии
Министерства науки и образования Азербайджанской
Республики, г. Баку mehribanmamedova1984@gmail.
com*

Алиева Гулнар Рагим

*К.б.н., Сумгаитский Государственный Университет,
Азербайджанская Республика, г. Сумгаит
article_1@mail.ru*

Аннотация. В представленной работе исследованы лекарственные растения, входящие во флору Азербайджана, по видовому составу микобиоты и активности гидролитических ферментов и фитотоксичности некоторых грибов, обнаруженных на этих растениях. Установлено, что исследованные растения являются местом обитания грибов, среди которых имеются способные синтезировать сбалансированные по активности гидролитических ферментов, деградирующие клеточные стенки хозяина. Показано, что уровень активности протеолитических ферментов, может использоваться как фактор, лимитирующий процесс патогенеза у фитопатогенных грибов, что для возбудителей вторичных микозов, наоборот, как фактор, способствующий к оппортунистическим действиям.

Ключевые слова: лекарственные растения, микобиота, гидролитические ферменты, фитотоксичность, лимитирующий и способствующий фактор

Как известно во флоре Азербайджана насчитывается более 4700 видов растений, из которых приблизительно 1/3 часть является лекарственными. Кроме того, некоторые из этих растений являются не только лекарственными, но и представляют интерес как кормовые, эфиромасличные и пищевые [6]. Однако, небольшая часть этих растений прошла скрининг на выявление лекарственных свойств, хотя большинство населения мира принимают препараты раститель-

ного происхождения [9], которые предотвращают в той или иной степени развития болезни, вызываемой различными микроорганизмами. В этой связи, с каждым годом увеличивается спрос на такие растения. Если учесть, что обеднение состава биоразнообразия является одним из глобальных экологических проблем, то в будущем это может привести к существенному ограничению использования лекарственных растений. Кроме того, их интенсивная, нерациональная, недо-

Таблица 1. Численная характеристика видов, входящих в микобиоту лекарственных растений

№	Виды растений	Mucormycota	Ascomycota	Bazidiomycota	Всего
1	<i>Achillea millefolium</i>	-	9	1	10
2	<i>Apium graveolens</i>	-	12	1	13
3	<i>Crocus sativus</i>	-	7	1	8
4	<i>Foeniculum vulgare</i>	1	10	1	12
5	<i>Helichrysum arenarium</i>	-	15	1	16
6	<i>Hypericum perforatum</i>	-	13	1	14
7	<i>Malva sylvestris</i>	-	12	1	13
8	<i>Matricaria chamomilla</i>	-	9	1	10
9	<i>Mentha piperita</i>	-	8	1	9
10	<i>Ocimum basilicum</i>	-	12	-	12
11	<i>Olea europaea</i>	1	16	3	20
12	<i>Rosa majalis</i>	1	14	1	16
13	<i>Rosmarinus officinalis</i>	-	10	1	11
14	<i>Salvia officinalis</i>	-	9	1	10
15	<i>Thymus vulgaris</i>	-	8	1	9
16	<i>Trifolium pratense</i>	-	17	2	19
17	<i>Tussilago farfara</i>	-	11	2	13
18	<i>Urtica urens</i>	-	8	-	8
19	<i>Zéa máys</i>	1	15	2	18
20	Другие	2	10	3	17
Всего		4	49	20	73

статочны контролируемая заготовка в качестве сырья также способствует этому, так как они являются особо уязвимой группой живых организмов.

Следует также отметить, что многие лекарственные растения обладают антифунгальной активностью [1], но несмотря на это, они также подвергаются патологиям, вызываемых теми же грибами [3], в результате чего их биологическая продуктивность уменьшается и даже полностью утрачивается [8, 13], что тоже в свою очередь отрицательно отражается на ресурсах лекарственных растений.

Все вышесказанное, вызывает важность всестороннего изучения лекарственных растений, особенно тех, которые широко используются в практических целях в микологическом аспекте. Но многие из этих растений используются без термообработки. Это обстоятельство вызывает серьезные опасения, так как материалы могут являться одновременно как местом обитания, так и источником обогащения различными метаболитами (в том числе микотоксинами) опасных грибов, что нашло своё подтверждение в различных исследованиях [2, 14]. Накопление этих грибов или их метаболитов на таких растительных материалах, которые используются людьми для лечебных целей может повышать риск заболеваний вторичными микозами и аллергиями. Поэтому оценка их в лекарственных растениях особенно важна в местах, где они больше

используются, что и явилось целью представленной работы.

Материалы и методы

В ходе исследований, проведенных в 2016–2022 годах из различных органов (вегетативных и генеративных) лекарственных растений (*Achillea millefolium* L., *Apium graveolens* L., *Crocus sativus* L., *Foeniculum vulgare* Mill., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench., *Hypericum perforatum* L., *Malva sylvestris* L., *Matricaria chamomilla* L., *Mentha piperita* L., *Ocimum basilicum* L., *Olea europaea* L., *Rosa majalis* Herrm., *Rosmarinus officinalis* L., *Salvia officinalis* L., *Thymus vulgaris* L., *Trifolium pratense* L., *Tussilago farfara* L., *Urtica urens* L., *Zéa máys* L. и др.), широко используемых в Азербайджане в народной медицине, были взяты и проанализированы около 700 образцов, из которых выделены в чистую культуры около 100 штаммов. Взятие, анализ образцов и выделение в чистую культуры проводилось согласно методам [5], которые широко используются в микологических исследованиях.

Идентификацию грибов проводили на стандартных средах, рекомендованных в руководствах по конкретным группам грибов, и процесс осуществляли по известным определителям [7, 12, 13], составленных по культурально-морфологическим и физиологическим свойствам грибов.

Таблица 2. Активность (Е/мл) ферментов грибов, обнаруженных на исследованных растениях

Виды (число штаммов)	Целлюлаза	Ксиланаза	Амилаза	Пектиназа	Протеаза
<i>Aspergillus flavus</i> (5)	1,11–2,02	20,10–28,69	1,68–2,59	5,60–7,31	3,62–7,11
<i>A. fumigatus</i> (5)	1,01–1,67	17,78–24,33	2,31–3,78	4,49–7,51	2,70–6,49
<i>A. niger</i> (5)	1,99–4,31	35,28–42,52	3,81–5,28	9,60–11,49	4,62–7,22
<i>A.ochraceus</i> (4)	0,37–0,67	13,22–17,61	1,21–2,30	7,11–8,88	3,18–4,49
<i>Alternaria alternata</i> (4)	0,89–1,79	12,69–23,49	0,67–1,28	3,08–5,09	2,21–4,71
<i>A. solani</i> (4)	0,51–1,21	17,81–30,09	0,51–0,78	2,77–4,31	1,90–5,69
<i>Botrytis cinerea</i> (4)	0,49–0,68	21,22–24,61	следы	1,21–2,49	0,69–1,20
<i>Favenaceum</i> (8)	1,11–1,58	16,41–21,92	1,40–2,21	1,52–3,53	следы
<i>F.gibbosum</i> (5)	0,80–1,31	15,59–25,29	1,78–2,99	2,61–4,80	0,31–0,79
<i>F.moniliforme</i> (5)	0,89–1,30	25,28–35,38	2,69–4,18	3,10–5,38	0,20–0,89
<i>F.oxysporum</i> (5)	0,71–1,20	20,19–31,39	2,31–3,49	2,30–4,59	следы
<i>F.semitectum</i> (4)	1,01–1,29	16,71–25,41	1,82–2,63	2,29–3,89	0,11–0,21
<i>V.dahlia</i> (5)	0,31–0,50	18,89–23,45	1,11–1,49	3,51–6,68	0,81–1,09
<i>V. albo-atrum</i> (4)	0,22–0,41	15,39–20,28	0,89–1,38	3,01–5,22	0,61–1,12
<i>P.martensii</i> (4)	0,20–0,49	23,42–31,28	следы	2,91–6,09	2,28–4,48
<i>P.cusclonium</i> (5)	0,28–0,67	26,45–34,50	1,18–2,40	3,39–7,41	1,11–2,21
<i>P. chrysogenum</i> (5)	0,81–1,28	18,89–23,41	0,62–1,42	2,11–4,32	2,89–4,56
<i>C.herbarum</i> (4)	1,10–1,50	19,32–28,27	0,31–0,78	2,56–4,23	1,41–1,89
<i>Septoria menthae</i> (5)	0,72–1,11	14,45–20,23	0,47–1,09	3,10–3,89	1,31–2,20
<i>Asc.foeniculina</i> (4)	0,91–1,42	17,21–23,23	0,71–1,42	2,59–4,18	1,30–1,71
<i>Asc.imperfecta</i> (3)	0,49–1,01	14,18–19,41	0,29–0,79	1,81–3,69	1,18–1,89
<i>Rh. stolonifer</i> (4)	1,28–1,61	18,1–21,4	1,12–1,51	2,12–4,12	4,43–5,72
<i>M. mucedo</i> (5)	1,11–1,52	19,6–328,22	0,94–1,33	2,43–3,31	6,42–7,64
<i>M.racemosus</i> (3)	0,91–1,72	17,17–24,27	0,71–1,52	1,61–3,88	3,61–5,92
<i>T.hamatum</i> (5)	2,32–4,12	29,10–36,72	0,11–0,49	1,21–1,89	4,11–5,67
<i>T.viridii</i> (4)	2,03–3,41	25,64–34,51	0,18–0,39	1,11–1,56	3,21–5,42

Культуры поддерживали на сусло-агаре, а для опытов выращивали в колбах Эрленмейера емкостью 500 мл, содержащих 100 мл среды, которая имела следующий состав(г/л): Глюкоза — 20; NaNO₃–2,0; K₂HPO₄–1,0; MgSO₄–0,5; KCl– 0,5; Fe₂O₃–0,01 и вода дистиллированная — 1 л [5]. Грибы культивировались на качалке (120 об/мин) в течение 7 суток при температуре 25–27°C. Состав сред менялся в зависимости от цели опыта.

Для изучения активности целлюлолитических и пектолитической активности использовали вискозиметрический метод, амилитической активности калориметрический, протеолитической активности метода Ансона [4]. Активность целлюлазы, ксиланазы, амилазы и протеазы выражали мкмоль/мин⁻¹·мл⁻¹(ед.мл⁻¹), а пектиназы —%.мл⁻¹ (ед.мл⁻¹).

Фитотоксичности грибов (т.е. фитотоксическую активность) определяли по степени всхожести семян некоторых растений, согласно методу использованной в работе К. Бахшалиевой [2] и выражали в процентах.

Полученные результаты и их обсуждения

Результаты показали, что в микобиоту исследуемых растений, часто используемых в медицинских целях, входят десятки видов микромицетов (табл. 1) и согласно систематике, используемой на официальном сайте Международной Микологической Ассоциации [11] они относятся к отделам Ascomycota, Basidiomycota и Mucormycota. При формировании микобиоты исследованных растений преобладающая роль принадлежит грибам: *Aecidium foeniculi*, *Alternaria alternata*, *A.solani*, *Ascochyta foeniculina*, *Asc.imperfecta*, *Ascophora disciflora*, *Aspergillus flavus*, *A.fumigatus*, *A.niger*, *A.ochraceus*, *A. terreus*, *A.austus*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium cladosporioides*, *C.herbarium*, *Colletotrichum panacicola*, *Erisiphe communis*, *E.trifolii*, *Fusarium gibbosum*, *F.graminearum*, *F.moniliforme*, *F.oxysporum*, *F.semitectum*, *F. solani*, *Mucor mucedo*, *M.racemosus*, *Nigrospora maydis*, *Penicillium chrysogenum*, *P.cusclonium*, *P.martensii*,

Таблица 3. Активность (Е/мл) ферментов грибов, обнаруженных на исследованных растениях

Самые активные штаммы	пшеница	фасоль	огурец
<i>Aspergillus flavus</i> AF-09	79	82	74
<i>A. fumigatus</i> AF-11	70	73	65
<i>A. niger</i> AN-24	80	78	76
<i>A. ochraceus</i> AO-33	78	72	75
<i>Alternaria alternata</i> AA-07	65	69	63
<i>A. solani</i> AS-14	61	55	51
<i>Botrytis cinerea</i> BC-03	49	52	43
<i>Fusarium avenaceum</i> FA-07	30	40	34
<i>F. gibbosum</i> FG-14A	39	44	40
<i>F. moniliforme</i> FM-24	38	40	37
<i>F. oxysporum</i> FO-32	35	34	29
<i>F. semitectum</i> FS-42	37	39	33
<i>Vertisillium albo-atrum</i> VA-07	50	52	49
<i>V. dahlia</i> VD-16	45	49	47
<i>P. martensii</i> PM-32	67	70	64
<i>P. cuslopium</i> PC-18	59	63	56
<i>P. chrysogenum</i> PC-02	72	74	68
<i>C. herbarum</i> CH-02	65	68	62
<i>S. alliorum</i> SA-06	62	65	61
<i>Asc. foeniculina</i> AF-09	65	63	60
<i>Asc. imperfecta</i> AI-17	61	64	59
<i>Rh. stolonifer</i> RS-04	76	80	79
<i>M. mucedo</i> MM-07	85	90	86
<i>M. ramosus</i> MR-14	79	78	80
<i>T. hamatum</i> TH-05	99	97	97
<i>T. viridii</i> TV-12	94	92	95

Phoma medicaginis, *Phyllosticta thymi*, *Ph. trifolii*, *Puccinia anethi*, *P. artemisiae*, *P. menthae*, *Rhizoctonia solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sc. libertiana*, *Sphaerotheca pannosa*, *Septoria menthae*, *Trichoderma hamatum*, *T. viride*, *Trichotecum roseum*, *Typhula trifoli*, *Uromyces appendiculatus*, *Ustilago zaeae*, *Vertisillium albo-atrum*, *V. dahliae* и др.

В некоторых случаях на этих материалах был обнаружен и гриб *Candida albicans*, который имеет склонность к инвазии и, в случаях дисбаланса в экологической нише, он может вызывать заболевание.

Представленные в табл. 1 данные показывают, что исследованные растения отличались между собой по численности видов, которые принимают участие в формировании их микобиоты. Например, в ходе исследований в формировании микобиоты *Trifolium pratense* участвуют 19 видов, у *Urtica urens* всего 8 видов, что видимо связано с фитокомпонентным составом этих растений.

Надо отметить, что в процессе патогенеза большое значение имеет способность грибов выделять различ-

ные ферменты [10], при помощи которых грибы расщепляют клеточную стенку хозяина и переходят внутрь ткани. При этом ферментативная система гриба играет важнейшую роль в проникновении и развитии гриба в ткани хозяина. Учитывая это, в ходе исследований выделенные грибы, являющиеся либо возбудителями вторичных микозов [16], либо продуцентами опасных для здоровья людей микотоксинов [2], были охарактеризованы по активности гидролитических ферментов. Выбор гидролитических ферментов обусловлен тем, что полимеры, входящие в клеточные стенки хозяина-растения (целлюлоза, гемицеллюлоза, пектин, белки и др.) расщепляются гидролитическим путем. Проведенные результаты показали, что исследованные штаммы грибов в той или иной степени проявляют активность ферментов гидролитического типа действия таких как, целлюлаза, амилаза, протеаза, ксиланаза и пектиназа (табл. 2). Кроме этого, из полученных данных выявлено, что некоторые штаммы обладали высокой активностью конкретного фермента, а некоторые — всех ферментов, т.е. одни штаммы являлись продуцентами конкретного фермента, а другие продуцентами сбалансированной гидролитической ферментной системы. По этим показателям они даже не уступали известным продуцентам,

хотя полученные данные не позволяют однозначно оценить роль ферментов в патогенезе грибов, так как зависимость между опасностью грибов и гидролазной активностью на первый взгляд не обнаруживается. Например, все штаммы гриба рода *Fusarium* по активности всех ферментов, особенно протеолитических уступают штаммам гриба *A.niger*.

Однако, изучение фитотоксичности грибов (по отношению к всхожести семян пшеницы, фасоли и огурца, обработанных культуральными жидкостями исследованных грибов) показали, что для грибов, имеющих высокую активность протеолитических ферментов, не характерна высокая фитотоксичная активность (табл. 3). Например, активность протеолитических ферментов фитопатогенного гриба *Vertisillium dahlia* была почти в 5 раза ниже, чем у гриба *Aspergillus flavus*, хотя фи-

тотоксическая активность *V.dahlia* на примера пшеницы было 1,8 раза больше, чем у *A.flavus*. Аналогичная картина обнаруживается при сравнении других грибов. Следовательно, уровень активности протеолитических ферментов, может использоваться как фактор, лимитирующий процесс патогенеза у фитопатогенных грибов, что для возбудителей вторичных микозов таких как *A.niger*, наоборот, является фактором, способствующим другим (например, патологическим или оппортунистическим) действиям.

Таким образом, полученные данные показали, что растительные материалы, используемые в народной медицине, являются местом обитания грибов, среди которых присутствуют способные синтезировать сбалансированные по активности гидролаз ферменты, деградирующие клеточные стенки хозяина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахшалиева, К.Ф., Исмаилова, Г.Э., Сафарова, А.Ш. и др. Влияние материалов, полученных из некоторых эфиромасличных растений на рост токсигенных грибов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки, 2020, № 2, с. 19–23
2. Бахшалиева, К.Ф. Экобиологические особенности токсигенных грибов, распространенных в Азербайджане. Автореферат диссертации на д.б.н. -Баку, 2017, 45с.
3. Гасимова, М.И., Гаджиева, Н.Ш., Байрамова, Ф.В. Оценка видового состава микобиоты растений различного назначения, распространенных в западном регионе Азербайджана // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки, 2020, № 11, с. 17–20
4. Лабораторный практикум по технологии ферментных препаратов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982, 240 с.
5. Методы экспериментальной микологии. / Под. ред. Билай В.И. -Киев: Наукова думка, 1982, 500с.
6. Мехтиева, Н.П. Биоразнообразие лекарственная флора Азербайджана. Баку: «Леттерпрес», 2011, 186с.
7. Саттон, Д. Фотергилл А., Риналди М., Определитель патогенных и условно-патогенных грибов. М.: Мир, 2001, 486с.
8. Casadevall, A. Fungal diseases in the 21st century: the near and far horizons. // Pathog. Immun., 2018, v.3, p.183–196.
9. Ekor, M. The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety // Front Pharmacol., 2014, 10;4:177. doi: 10.3389/fphar.2013.00177
10. Guerriero, G., Hausman, J.F., Strauss, J. et al. Deconstructing plant biomass: focus on fungal and extremophilic cell wall hydrolases. Plant Sci., 2015, v. 234, — p.180–193.
11. Basic searching on MycoBank [электронный ресурс] <http://www.mycobank.org/MycoTaxo.aspx> (дата обращения 10.01.2023)
12. Kirk, P.M. Cannon, P.F., Minter, D.W. et al. Dictionary of the fungi. UK, 2008, 747 p.
13. Muradov, P.Z. Shirinova, G.F., Asgerli, L. Gh. et al. Species composition of fungi causing diseases in agricultural plants in agrarian sector of Azerbaijan // Journal of Applied and Natural Science, 2019, v.11 (4), p.785–790
14. Omotayo O.P., Omotayo A.O., Mwanza M., Babalola O.O. Prevalence of Mycotoxins and Their Consequences on Human Health. // Toxicol Res., 2019, v.35(1), p.1–7.
15. Seifert, K.A. The genera of Hyphomycetes. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2011. 997 p.
16. Verissimo, C., Toscano, C., Ferreira, T. et al. Invasive and Subcutaneous Infections Caused by Filamentous Fungi: Report from a Portuguese Multicentric Surveillance Program. // Microorganisms, 2022, 10, 1010. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10051010>

© Бахшалиева Конул Фарух (konul.baxsh@mail.ru), Исмаилова Гунай Элман (azmbi@mail.ru),

Мамедова Мехрибан Юсиф (mehribanmemmedova1984@gmail.com), Алиева Гулнар Рагим (article_1@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЛИЯНИЕ БЕЛОГО, СИНЕГО И КРАСНОГО СВЕТА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНОТИПОВ ТОМАТА

Гасанова Кошул Заур

Старший преподаватель, Азербайджанский
Государственный Аграрный Университет, г. Гянджа
konul.qasanova.86@mail.ru

INFLUENCE OF WHITE, BLUE AND RED LIGHT ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TOMATO GENOTYPES

K. Hasanova

Summary. The influence of white, blue (420–480 nm) and red (620–680 nm) light on the relative humidity of leaves, as well as on the content of photosynthetic pigments, the activity of photosystem-2, the content of proteins and soluble carbohydrates in the leaves of tomato varieties was studied. Photosynthetic pigments were determined by leaf homogenization in 96% ethanol followed by centrifugation at 200g. The amounts of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids were determined on an SP — 2000 spectrophotometer at wavelengths of 665, 649 and 440.5 nm, respectively. The content of soluble sugars was determined by the accelerated bichromate method at a wavelength of 630–570 nm. The protein content was determined on a spectrophotometer SP 2000, at a wavelength of 230 and 260 nm.

Studies have shown that when exposed to red light, there is an increase in the content of photosynthetic pigments and soluble carbohydrates in all varieties of tomatoes grown in red light. Unlike red light, blue light stimulated protein synthesis in tomato leaves.

Keywords: blue light, red light, pigments, photosystem-2, proteins, carbohydrates.

Аннотация. Исследовано влияние белого, синего (420 нм) и красного (620–680 нм) света на относительную влажность листьев, а также на содержание фотосинтетических пигментов, активность фотосистемы-2, содержание белков и растворимых углеводов в листьях сортов томата. Фотосинтетические пигменты определяли методом гомогенизации листьев в 96%-ном этиловом спирте с последующим центрифугированием при 200г. Количество хлорофилла а, хлорофилла б и каротиноидов определены на спектрофотометре SP 2000 при длинах волн 665, 649 и 440,5 нм соответственно. Содержание растворимых сахаров определяли ускоренным бихроматным методом при длине волны 630–570 нм. Содержание белка определяли на спектрофотометре SP — 2000, при длине волны 230 и 260 нм.

Исследования показали, что при воздействии красного света происходит увеличение содержания фотосинтетических пигментов и растворимых углеводов у всех сортов томатов, выращиваемых на красном свете. В отличие от красного света синий свет стимулировал синтез белков в листьях томатов.

Ключевые слова: синий свет, красный свет, пигменты, фотосистема-2, белки, углеводы.

Введение

Одним из существенных факторов, необходимых для роста, развития и продуктивности растений, является интенсивность и спектральный состав света. В условиях недостаточного обеспечения солнечным светом нарушался процесс фотосинтеза, снижались рост, развитие, урожайность и устойчивость растений. Овощи в ответ на недостаток солнца относятся к тем культурам, неблагоприятная реакция которых впоследствии сопровождается снижением показателей урожайности. Среди овощных культур особое место по спектральному составу света занимают помидоры. Среди растительных рецепторов, воспринимающих внешние световые сигналы, наибольшую записывающую роль играет система фитохромов

[1–10]. В эту систему входят три класса фоторецепторов: фитохромы, криптохромы и фототропины. Фитохромы воспринимают и преобразовывают световой сигнал в красной области (660–730 нм). В растениях содержится не менее пяти фитохромов — А, В, С, D и E, различающихся по физиологической роли]. Фитохромы контролируют рост, развитие, морфогенез растений, активность ферментов, синтез рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилазы, хлорофилла, интенсивность фотосинтеза, накопление и распределение ассимилятов. Однако в большинстве работ изучалась только быстрая реакция на действие красного света. Исследованию действия красного света в натуральных опытах посвящено лишь небольшое количество работ. Поэтому исследования в этом направлении представляются целесообразными.

Таблица 1. Влияние белого, синего и красного света на морфометрические и физиологические показатели томатов

Сорта томатов	Относительное содержание воды в листьях, %	Содержание хлорофилла (a+b), (мг/л)	Содержание каротиноидов (мг/л)	F_v/F_m	Содержание белков, %	Содержание сахаров, %
Фалкон	60 ± 2,3	16,8 ± 0,6	5,9 ± 0,2	0,66	1,5	3,8
Белый свет	66 ± 2,3	15,5 ± 0,4	5,4 ± 0,4	0,65	1,9	3,6
Синий свет	58 ± 3,4	19,8 ± 1,2	6,5 ± 0,3	0,67	1,6	4,2
Красный свет						
22-74	63 ± 1,1	18,2 ± 0,5	6,1 ± 0,1	0,68	1,8	4,1
Белый свет	69 ± 1,2	15,6 ± 1,4	5,8 ± 0,2	0,65	2,1	3,8
Синий свет	64 ± 0,8	20,2 ± 2,1	6,9 ± 0,1	0,69	1,8	4,6
Красный свет						
Краснодар	75 ± 1,3	18,2 ± 1,3	6,5 ± 0,3	0,73	1,9	4,2
Белый свет	77 ± 2,4	16,7 ± 1,1	6,2 ± 0,2	0,72	2,3	4,1
Синий свет	71 ± 1,9	21,2 ± 2,5	7,6 ± 0,5	0,75	1,8	4,7
Красный свет						
Волгоград	70 ± 0,9	21,2 ± 0,9	7,8 ± 0,2	0,74	2,1	4,3
Белый свет	72 ± 0,8	18,6 ± 0,6	7,5 ± 0,4	0,71	2,5	4,1
Синий свет	67 ± 1,2	23,2 ± 1,9	8,4 ± 0,6	0,76	1,8	4,8
Красный свет						
Толстой	80 ± 1,2	24,2 ± 0,5	8,6 ± 0,4	0,75	2,1	4,4
Белый свет	82 ± 0,7	20,4 ± 0,6	8,2 ± 0,3	0,72	2,4	3,9
Синий свет	75 ± 1,3	26,5 ± 1,7	9,5 ± 0,6	0,76	1,7	4,9
Красный свет						
Ралли	75 ± 1,5	23,4 ± 1,2	8,4 ± 0,2	0,63	2,3	3,6
Белый свет	77 ± 2,6	19,6 ± 1,8	7,9 ± 0,5	0,61	2,6	3,5
Синий свет	65 ± 3,1	25,5 ± 2,1	8,7 ± 0,6	0,69	1,5	4,2
Красный свет						

Цель

Целью наших исследований было изучение влияния белого, синего и красного света на некоторые физиолого-биохимические показатели томатов.

Материалы и методы

В работе использовали пять сортов томата (*Lycopersicon esculentum* Mill.): скороспелый сорт Волгоград, высокоурожайный сорт Толстой, среднеспелые сорта Фалкон, 2224 и Ралли. Растения выращивали на опытном участке на делянках площадью 1 м². Опытные растения покрывают прозрачной пленкой, пропускающей свет с длиной волны 420–480 нм и 620–680 нм в течение вегетационного периода (июнь — июль). Для физиолого-биохимических исследований пробы полностью сформировавшихся листьев отбирали каждую неделю в 11 часов. Фотосинтетические пигменты определяли гомогенизацией листьев на 96%-ном этиловом спирте с последующим центрифугированием при 200 g. Содержание хлорофиллов a, b и каротиноидов определяли на спектрофотометре SP-2000 при длинах волн 665, 649 и 440,5 нм, используя коэффициенты Wintermans, De Mots, 1965 [11]. Активность фотосистемы 2 определяли с помощью коэффициента F_v/F_m

где $F_v = F_m - F_0$; F_0 — флуоресценция «темневых» листьев, F_m — флуоресценция «световых» листьев. Относительное содержание воды определяли по Тамбусси (Tambussi E.A., Noges S., 2005) [12]. Содержание растворимых сахаров определяли ускоренным бихроматным методом при длине волны 630–570 нм [13]. Содержание белка определяли на спектрофотометре SP 2000 при длине волны 230 и 260 нм по методу Kalb, Bernlohr [14]. Анализ данных и статистический анализ проведены с использованием Microsoft Excel. Статистический анализ выполнен с помощью статистического пакета Statgraphics Plus 5.1. Средние значения сравнивали с помощью критерия множественных диапазонов Дункана ($p = 0,05$).

Результаты и обсуждение

Результаты опытов показали, что при синем свете морфометрические и физиологические параметры растений томата изменяются в одном направлении (таблица). Относительная влажность листа снизилась у сорта Фалкон — на 12%, сорта 2224 — 7%, сорта Краснодар — 8%, сорта Волгоград — 7%, сорта Толстой — 8%, сорта Ралли — 15%. Содержание хлорофиллов и каротиноидов увеличилось у всех сортов с небольшими различиями. Эффективность фотосистемы 2 была на одном уровне у сортов

Фалкон и 22–74, несколько повышена у сортов Краснодар, Волгоград, Толстой и Ралли. Некоторое снижение содержания углеводов отмечено у сортов Фалкон и Ралли, а незначительное увеличение содержания сахаров отмечено в листьях сортов Краснодарский и Толстой. Результаты наших исследований показали, что в листьях всех изучаемых сортов томата отмечено увеличение содержания белка в синем свете. Аналогичные результаты получены и в работах других исследователей. Показано [2], что содержание углеводов изменяется в течение дня: утром наблюдается более низкое содержание водорастворимых углеводов, чем вечером, что, по мнению авторов, связано с их интенсивным использованием для роста и в метаболических процессах.

По мнению авторов, это связано с интенсивным включением в обмен водорастворимых углеводов, а также с повышением температуры. Авторы считают, что их результаты еще не позволяют сделать вывод о влиянии активации фитохромов в проростках томата на содержание углеводов в листьях и растениях. Однако, по другим литературным данным, активация фитохромов приводит к увеличению интенсивности угле-

водного обмена и активности ферментов углеводного обмена [4–10].

Эти эффекты устанавливаются непосредственно в период воздействия или в течение суток после воздействия красного света. В наших опытах также выявлено увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов, что сопровождалось активацией фотосистемы 2 и незначительным снижением содержания белка. По-видимому, под влиянием красного света происходит активация фитохромов, что приводит к ускорению морфогенетических и физиологических процессов, что также может реализовываться за счет усиления углеводного обмена.

Вывод

Таким образом, результаты наших исследований показали, что в листьях всех исследованных растений томата под действием красного света (620–680 нм) увеличивается содержания фотосинтетических пигментов и углеводов, тогда как синий свет (420–480 нм) стимулирует синтез белка в листьях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щеголев А.С., Жмурко В.В. Влияние красного света на продуктивность томатов // Известия Харьковского национального аграрного университета. Серия «Биология». — Харьков, 2006. — № 1 (8). — С. 77–81.
2. Щеголев А.С., Жмурко В.В. Влияние красного света на содержание углеводов в листьях томатов // Известия Харьковского национального аграрного университета. Серия «Биология». — Харьков, 2008. — № 814. (7). — С. 205–210.4.
3. Mustilli A.C., Bowler C. Tuning in to the signals controlling photoregulated gene expression in plants // The EMBO Journal. — 1997. — Vol.16, № 19. — P. 5801–5806.
4. Mustilli A.C., Fenzi F., Ciliento R. et al. Phenotype of the tomato high pigment mutant is caused by a mutation in the tomato homolog of DEETIOLATED1 // Plant Cell. — 1999. — Vol.11. — P. 145–158.
5. Neuhaus G., Bowler C., Hiratsuka K. et al. Phytochrome-regulated repression of gene expression requires calcium and cGMP // The EMBO Journal. — 1997. — Vol.16, № 10. — P. 2554–2564.
6. Parks B.M. The red side of photomorphogenesis // Plant Physiology. — 2003. — Vol.133. — P. 1437–1444.
7. Peters J.L., Széll M., Kendrick R.E. The expression of light-regulated genes in the high-pigment-1 mutant of tomato // Plant Physiol. — 1998. — Vol.117. — P. 797–807.
8. Schäfer E., Bowler C. Phytochrome-mediated photoperception and signal transduction in higher plants // The EMBO Journal. — 2002. — Vol.3, № 11. — P. 1042–1048.
9. Sharkey T.D., Vassey T.L., Vanderveer P.J., Vierstra R.D. Carbon metabolism and photosynthesis in transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) having excess phytochrome // Planta. — 1991. — Vol.185. — P. 287–296.
10. Smith H. Physiological and ecological function within the phytochrome family // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. — 1995. — Vol.46. — P. 289–315.
11. Wintermans, J.E.G. and De Mots, A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol *Biochimica et Biophysica Acta*, — 1965. v. 109, — p. 448–453.
12. Tambussi E. A., Noges S., Araus L. Ear of durum wheat under water stress. Water relations and photosynthetic metabolism. *Planta*, 2005. p.1–25.
13. Большой практикум по биохимии. Пермь, 2012. — 148 с.
14. Kalb, V.F. and Bernlohr, R.W., A new spectrophotometric assay for protein in cell extracts. *Analyt. Biochem.*, 1977, 82: 362–371.

DOI 10.37882/2223–2966.2023.02.11

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ОСОБОЙ ОХРАНЫ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА КРАЕВОГО ЗНАЧЕНИЯ «ЧОГРАЙСКИЙ»

FEATURES OF THE ENVIRONMENTAL REGIME OF THE CHOGRAI RESERVOIR

**V. Drup
S. Trautvain
G. Seifulina**

Summary. The characteristics and features of the relief, climatic features, soil cover of the studied protected area are given. The role of protected areas in the conservation of biological diversity is considered, the current state and characteristics of flora and fauna within the protected areas, which are under special protection, are analyzed. The territorial structure and status of protected areas are described. Conducted thematic mapping.

Keywords: PAs, Chogray reservoir, biological diversity, physical and geographical characteristics, climate, soils, Central Ciscaucasia.

Друп Виктория Демировна

К.б.н., ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт»
Sylvia_vica@mail.ru

Траутвайн Светлана Анатольевна

К.з.н., ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
svet-sk@yandex.ru

Сейфулина Галина Владимировна

К.б.н., ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт»
seif.gala@mail.ru

Аннотация. Дается характеристика и особенности рельефа, климатических особенностей, почвенного покрова исследуемой ООПТ. Рассматривается роль ООПТ в сохранении биологического разнообразия, проанализировано современное состояние и характеристика флоры и фауны в пределах ООПТ, находящихся под особой охраной. Описывается территориальная структура и статус ООПТ. Проведено тематическое картирование.

Ключевые слова: ООПТ, Чограйское водохранилище, биологическое разнообразие, физико-географическая характеристика, климат, почвы, Центральное Предкавказье.

Рельеф и геологическое строение

Чограйское водохранилище находится на Предкавказской равнине в пределах Кумо-Манычской впадины. Исследуемая равнина располагается на 85% площади края и является южной частью протяженной Восточно-Европейской равнины. Рельеф исследуемой территории представляет неоднородную структуру. Кумо-Манычская впадина образована за счет понижения рельефа, имеет линейно-вытянутое строение с направлением на северо-запад. Плоское дно впадины образовано поймами и низкими террасами рек, таких как Маныч, Калаус, Кума, а также множеством различных озер, часть которых преобразована в водохранилища. Это самая низкая зона территории края с береговыми отметками оз. Маныч до 12 м., а реки Кумы — 5 м. над уровнем моря [1].

Территория расположена в зоне развития эрозионно-аккумулятивных равнин с долинно-балочным расчленением, занимает относительную высоту 20–35 м.

над уровнем моря. Чограйское водохранилище является частью водно-болотных угодий, располагающихся между Приазовской и Прикаспийской низменностями. До создания водохранилища в 1969 г. на данной территории располагалось русло постоянно пересыхающей р. Восточный Маныч. Особенности исследуемого рельефа неразрывно соединены с тектонической природой недр, характеризующей их глубинное строение, направление тектонических движений, а также скорость данных процессов. Исследуемая нами территория расположена на молодой платформе, называемой Скифской плитой. В ее состав входят: Азово-Кубанский прогиб, Манычский прогиб, Ставропольский свод, Прикумское поднятие, Восточно-Ставропольская впадина. Скифская плита является молодой платформой, представленной Предкавказской равниной. Данная плита состоит из характерного палеозойского складчатого фундамента, а также мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, скрытого на глубине. Данный фундамент сложен смятыми в складки осадочно-метаморфическими породами (метаморфизованными глинами,

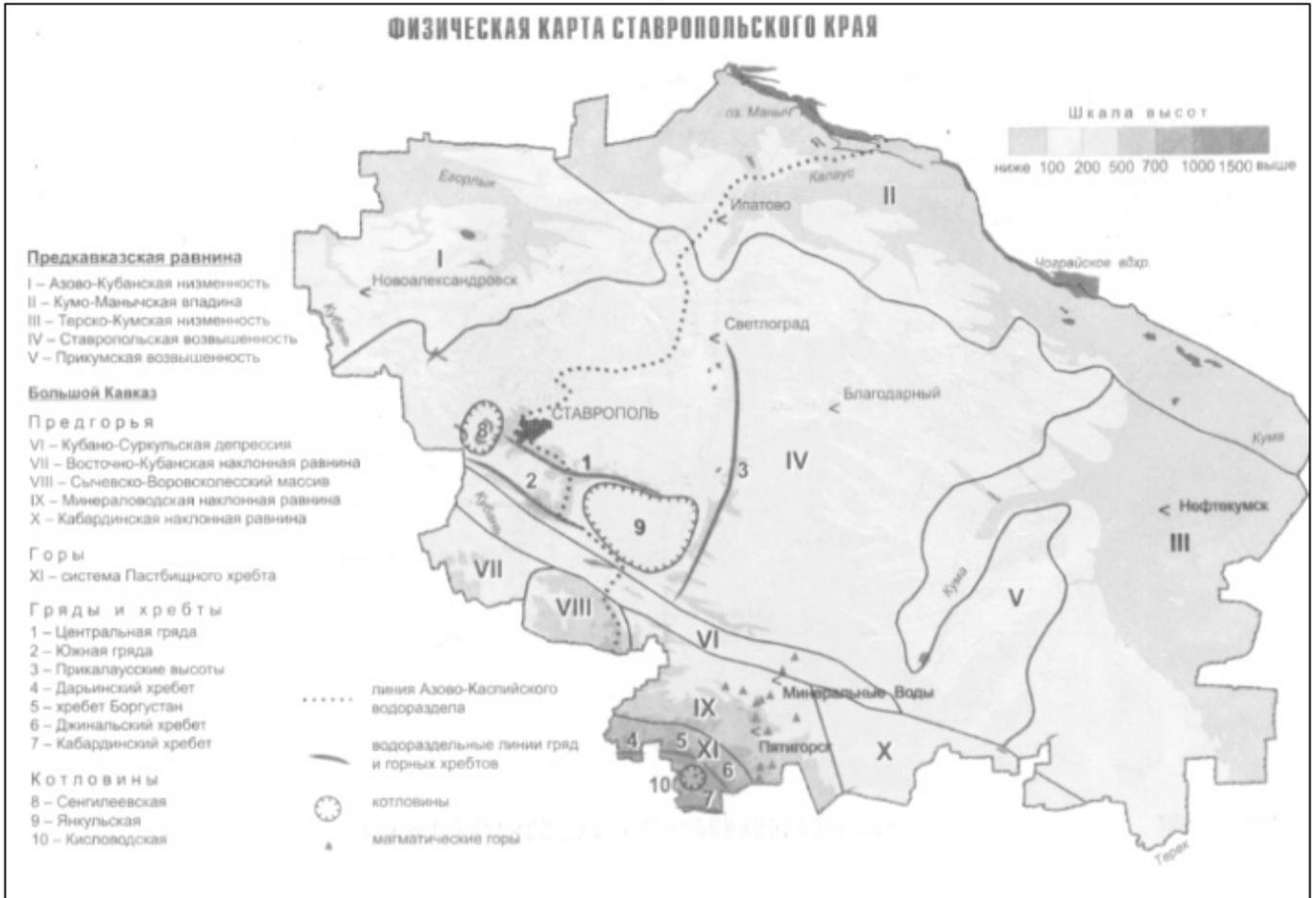


Рис. 1. Физическая карта Ставропольского края

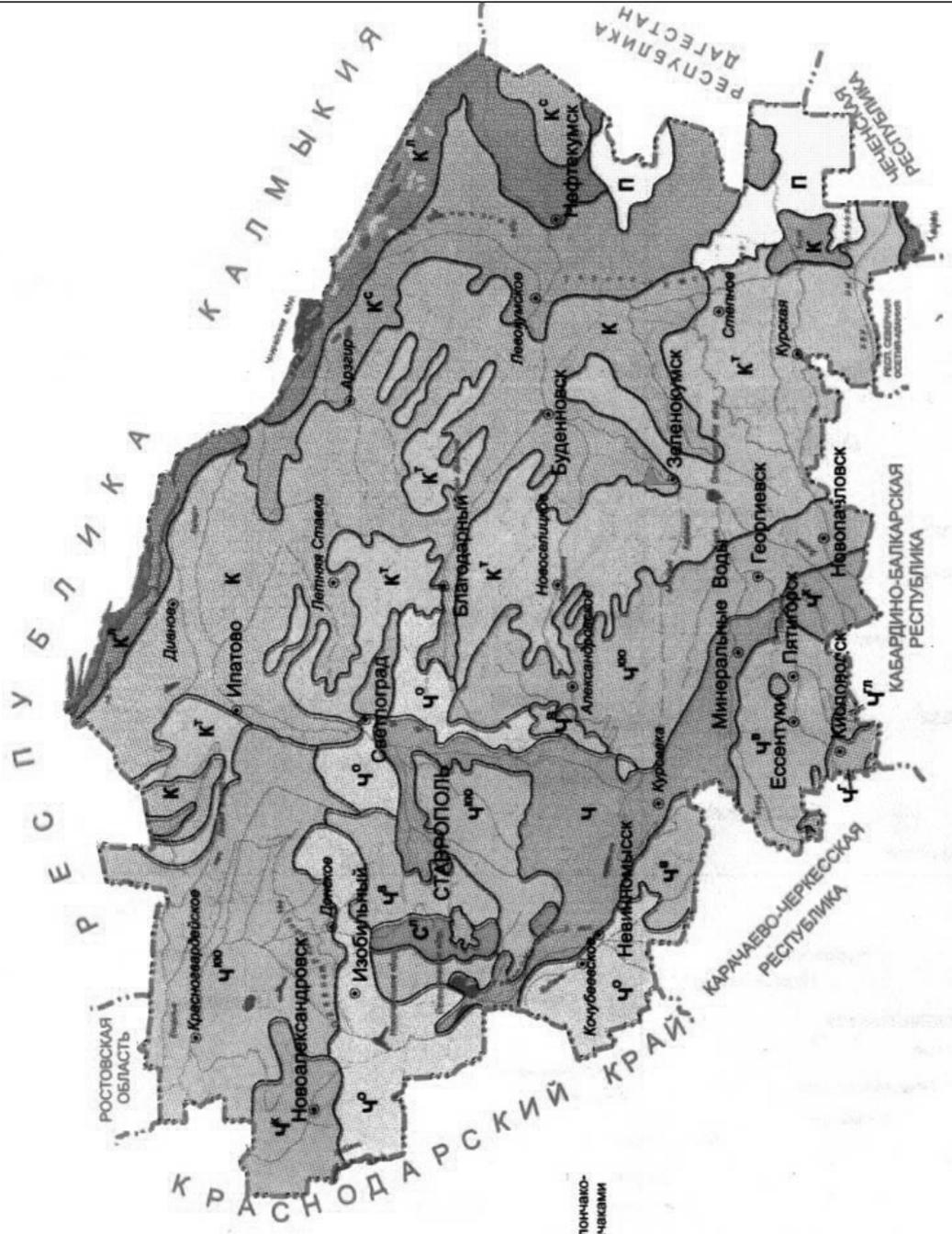
вулканическими породами, сланцами), которые местами прорваны гранитами и другими магматическими породами. Фундамент является остаточным элементом герцинских гор, располагающихся в период палеозоя и мезозоя на территории Северного Кавказа и Предкавказья, которые позже подверглись разрушительным изменениям. Осадочный чехол расположен в пределах складчатого фундамента. Фундамент образован морскими, а также континентальными образованиями, представленными глинами, песками, суглинками и другими элементами. Фундамент располагается на глубине от 3,5 до 6 км под Кумо-Манычской впадиной.

Климат

Район исследования находится во II-м агроклиматическом районе, с гидротехническим коэффициентом (ГТК) равным 0,5–0,7, что соответствует крайне засушливой зоне. На исследуемой засушливой территории выпадает сравнительно небольшое количество осадков около 300–370 мм в год. Средняя испаряемость насчитывает около 830–970 мм, что значительно превышает

сумму осадков, следовательно, коэффициент увлажнения насчитывает 0,4. В пределах исследуемой территории значительно выражен недостаток влаги. Наиболее дождливые периоды выпадают на апрель и октябрь, что составляет 50–60%. Исследуемая территория располагается под наибольшим воздействием теплых воздушных потоков, формирующихся в летний период в пределах Прикаспийской низменности. Для территории характерны суховеи разной интенсивности, число которых за теплый период равно 102 дня. Число дней с сильным ветром (более 15 м/с) за год составляет 13, чаще они дуют с апреля по июнь. Климат характеризуется как континентальный. Лето довольно жаркое, а зима очень холодная. Средняя температура воздуха за год равна 9,9⁰С. В январе средняя температура равна –5⁰С, в июле поднимается выше 24⁰С. Зафиксированы случаи минимального снижения температуры до –38⁰С, а максимальные значения могут достигать +44⁰С. Средняя продолжительность без мороза составляет 185 дней, с температурой от 5⁰С насчитывает 221 день, а с температурой около 10⁰С составляет 181 день. Дата перехода средней суточной температуры воздуха че-

Карта почв Ставропольского края



Условные обозначения

- Ч^в Черноземы типичные (выщелоченные и слабовыщелоченные мощные)
- Ч^р Черноземы обыкновенные (мощные и сверхмощные)
- Ч^к Черноземы обыкновенные карбонатные (сверхмощные и мощные)
- Ч^ю Черноземы южные карбонатные (среднемощные)
- Ч Черноземы солонцеватые (слитые) часто в комплексе с солонцами
- К^т Темно-каштановые преимущественно карбонатные местами с солонцами
- К Каштановые карбонатные и солонцеватые
- К^с Светло-каштановые, солонцеватые и карбонатные
- К^л Лугово-каштановые преимущественно солончаковатые, в комплексах с солонцами и солончакками
- Ч^г Черноземы горные
- Ч^л Черноземы горно-луговые
- С^л Серые лесные почвы
- П Пески развееваемые и полужазагрененные

Рис. 2. Картографический материал: почвы Ставропольского края.

рез 4 °С наступает в конце первой декады марта и в начале первой декады декабря, а через 5 °С — в начале марта и в конце первой декады ноября. Последние весенние заморозки наблюдаются в конце второй декады апреля, а ранние осенние заморозки — в конце второй декады октября. В зимнее время в исследуемом районе господствуют холодные ветры с востока и северо-востока, провоцируя понижения температуры. Скорость ветров достигает 20–40 м/с. Зима наступает в начале декабря и продолжается до 9–10 марта, около 97–103 дня. В отдельные годы зима наступает уже с середины ноября. Зимой часто наблюдаются оттепели, при которых температура может повышаться до +16–19 °С. Снежный покров неустойчив, не превышает высоты 10 см, сохраняется около 60–70 дней, часто сходит до наступления устойчивых положительных температур воздуха. В исследуемом районе довольно немного туманных дней (30–40). Весна наступает в первой декаде марта, хотя возможно запаздывание или более раннее наступление с колебаниями примерно на две недели в ту или иную сторону. Бывают года, когда в феврале на некоторое время устанавливается хорошая погода, а затем снова наступает похолодание с выпадением снега. Средняя дата полного оттаивания почвы — 22 марта, а дата наступления спелости почвы — 20 апреля. Весной преобладают восточные ветры, скорость которых выше 20 м/с, что часто провоцирует пыльные бури. Средняя температура в июле 23 °С, августе — 24 °С, максимальные температуры достигают 43–44 °С. В теплый период осадков в среднем выпадает 215 мм, максимум их приходится на июнь — 45 мм, в июле выдает 37 мм, а в августе — 28 мм. В отдельные годы это период отличается полным отсутствием дождей в течение 1–2 месяцев. Большая часть летних осадков расходуется на испарение и транспирацию, промачивая лишь небольшой поверхностный слой почвы. Осадки выпадают в виде ливней. Осень довольно теплая. Температура снижается постепенно. Среднемесячная октябрьская температура достигает 10–11 °С, а максимальная может подняться до 33 °С. Ранние осенние заморозки возможны уже во второй декаде сентября. В среднем заморозки осенью начинаются 12–15 октября. Средняя продолжительность периода без мороза составляет около 175–185 дней. Количество осадков уменьшается, а продолжительность их увеличивается. Влажность воздуха повышается, возрастает число дней с туманами. Территория постоянно подвержена влиянию сухих ветров, наибольшая их повторяемость падает на восточные ветры, которые вызывают заметное похолодание зимой, а летом и весной вызывают суховеи, которые несколько сокращают содержание продуктивной влаги в почве. Скорость ветров превышает 15 м/с, вызывают пыльные бури. Число дней с ветрами достигает 57, а с более 15 м/с — 23. Эти ветры сухие, знойные, летом они вызывают засухи, которые повторяются ежегодно.

Почвенный покров

Исследуемый объект находится в северо-восточной части Ставрополя. Природно-климатические условия рассматриваемой территории характеризуются довольно ровным рельефом, это степная равнина, пронизанная балками и неглубокими оврагами. Доминируют лугово-каштановые почвы, преимущественно солонцеватые, в сочетании с солонцами и солончаками. Территория характеризуется засушливым климатом. Лугово-каштановые почвы доминируют в пределах сухостепной зоны.

Профиль почв имеет следующее морфологическое строение:

- (А) — гумусовый горизонт: мощность от 25 до 30 см;
- (В1) — переходный горизонт: мощность около 20 см;
- (В2) — горизонт гумусовых затеков: мощность около от 30 до 35 см;
- (Вк) — карбонатный горизонт: мощность до 70 см;
- (С) — материнская порода.

Почвы формируются при дополнительном внешнем или грунтовым увлажнении, что влияет на развитие разнообразной по видовому составу разнотравно-кустарничково-злаковой растительности. Лугово-каштановые почвы могут образовываться при остепнении пойменных и луговых почв и при рассолонцевании лугово-каштановых солонцов.

Растворенные в притекающих водах соли аккумулируются не во всех депрессиях, а лишь в условиях сухого климата, когда воды испаряются, а содержащиеся в них соли выпадают из растворов. Солонцы луговые солончаковые характеризуются темной окраской почвенного профиля, глыбистой структурой солонцового горизонта, вязкостью, очень плотным сложением, близким расположением минерализованных грунтовых вод. Надсолонцовый горизонт А содержит 2,7–3,4% гумуса. С глубиной количество его уменьшается до 1,57–2,05% в солонцовом горизонте, 0,34–0,77% в почвообразующей породе. Лугово-каштановые почвы входят в комплексы с солонцами и солончаками.

Растительный покров. Растительность исследуемой территории представлена полупустынями и сухими степями [8]. Встречается тростник южный, рогоз (*Typha*), а на солончаках — сарсазан (*Halocnemum*), кермек (*Limonium*). Встречаются молочай Сегиев (*Euphorbia seguieriana*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), костер кровельный (*Zerna tectorum*), василек песчаный (*Centaurea arenaria*). Степные злаки распространены мозаично с включениями с полынью таврической (*Artemisia taurica*), белой (*A. absinthium* L.) и обыкновенной (*A. vulgaris*).

В пределах территории исследования расположены ковыльно-типчаковая степь и частично полынно-ковыльно-типчаковая степь, произрастающие на солонцовых комплексах. Ковыльно-типчаковые степи были распространены большей частью в пределах территории района, но в настоящее время практически полностью распаханы, на сохранившихся целинных участках доминирует растительность ковыльно-типчаковая: ковыль, типчак, мятлик, овсяница, тонконог. Довольно много здесь и яркоцветущих двудольных растений. Мозаичная полынно-ковыльно-типчаковая степь, произрастающая на солонцовых комплексах, сохранилась в нижней части долины реки Калауса. Видовое разнообразие здесь доходит до 30–40 видов на 100 м². Помимо злаков и полыни — обильны тюльпаны, ирисы и другие растения [8].

Особенности фауны

Животный мир исследуемой территории представлен типичными для степной зоны видами и видами водно-болотных комплексов: болотная черепаха (*Emys orbicularis*), жаба зеленая (*Bufo viridis*), чесночница обыкновенная (*Pelobates fuscus*), ящурка разноцветная западная (*Eremias arguta*), ящерица полосатая (*Lacerta strigata*), полоз четырехполосый (*Elaphe quatuorlineata*), гадюка степная (*Vipera ursinii*), лягушка озерная (*Rana ridibunda*), уж обыкновенный (*Natrix natrix*), уж водяной (*N. tessellata*). Наиболее многочисленны представители таких видов рыб как: сазан (*Cyprinus carpio*), серебряный карась (*Carassius gibelio*), золотой карась (*Carassius carassius*), судак (*Sander lucioperca*) и красноперка (*Scardinius erythrophthalmus*), окунь (*Perca fluviatilis*), лещ (*Abramis brama*), белый (*Hypophthalmichthys molitrix*) и пестрый (*H. nobilis*) толстолобики и белый амур (*Ctenopharyngodon idella*) [2]. Фауна птиц насчитывает не менее 91 вида, 20 из которых находятся под особой охраной. В степях доминирующими млекопитающими являются: хомячок серый (*Cricetulus migratorius*), еж ушастый (*Hemiechinus auritus*), суслик малый (*Spermophilus pygmaeus*), тарбаганчик (*Pygeretmus pumilio*), мышь домовая (*Mus musculus*). Обычен заяц-русак (*Lepus europaeus*). Из степных хищников наиболее часто встречается обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes*). Обитают ондатра (*Ondatra zibethicus*), енотовидная собака (*Nyctereutes procyoides*).

В пределах значительной части акватории водохранилища с прилегающей береговой зоной сформирован Государственный природный заказник краевого значения «Чограйский», согласно постановлению Губернатора Ставропольского края от 08 ноября 1999 г. № 664 (затем — постановлением от 08 сентября 2014 г. № 371-п). Площадь заказника составляет 6683,08 гектара. Заказ-

ник «Чограйский» является биологическим и предназначен для сохранения и восстановления экосистемы водохранилища, сохранения и восстановления редких и находящихся под угрозой исчезновения объектов животного и растительного мира, а также объектов животного и растительного мира, ценных в хозяйственном, научном и культурном отношении, сохранения и рационального использования охотничьих ресурсов, содействия в развитии экологического туризма и экологического просвещения.

Биологическое разнообразие орнитофауны, включая виды гнездящиеся в ООПТ, насчитывает 91 вид, 20 из которых занесены в Красную книгу СК и РФ. Здесь отмечают серую утку (*Anas strepera*), крякву (*Anas platyrhynchos*), огаря (*Tadorna ferruginea*), пеганку (*Tadorna tadorna*), чирка-трескунка (*Anas querquedula*), чирка-свистунка (*Anas crecca*), краснозобую казарку (*Branta ruficollis*), лебедя шипуна (*Cygnus olor*), кудрявого (*Pelecanus crispus*) и, иногда, розового (*P. onocrotalus*) пеликанов, цапель и, очень редко, фламинго. В тростниково-рогозовых крепях гнездятся камышовка, пастушок, погоныш. Ходулочник (*Himantopus himantopus*) и шилоклювка (*Recurvirostra avosetta*) образуют небольшие колонии. Из хищных птиц встречается болотный лунь (*Circus aeruginosus*). Обитают серая куропатка (*Perdix perdix*) и перепел (*Coturnix coturnix*). В пределах заказника выявлены редкие и исчезающие растения: ковыль красивейший (*Stipa pulcherrima*), касатик (ирис) кожистый (*Iris scariosa*) и другие. В пределах границы заказника выделены 4 функциональные зоны: природоохранная зона, регулирования любительской и спортивной охоты, регулирования любительского и спортивного рыболовства, регулирования выпаса сельскохозяйственных животных и птицы.

В пределах зоны регулирования любительской и спортивной охоты заказника соответствующий вид охоты разрешается только по установленным правилам охоты, с соблюдением норм допустимой добычи охотресурсов и в сроки, устанавливаемые Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды СК.

На территории заказника разрешено любительское и спортивное рыболовство, которое осуществляется гражданами свободно и бесплатно, в том числе с использованием маломерных моторных и безмоторных судов (за исключением запретного периода с 01 апреля по 31 мая ежегодно). Правилами рыболовства Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна также прописываются виды рыб, добыча которых возможна только при достижении ими промыслового размера. Надзор по соблюдению правил рыболовства

Границы государственного природного заказника краевого значения «Чограйский» и его функциональных зон



Рис. 3. Картографический материал: границы государственного природного заказника краевого значения «Чограйский» и его функциональных зон

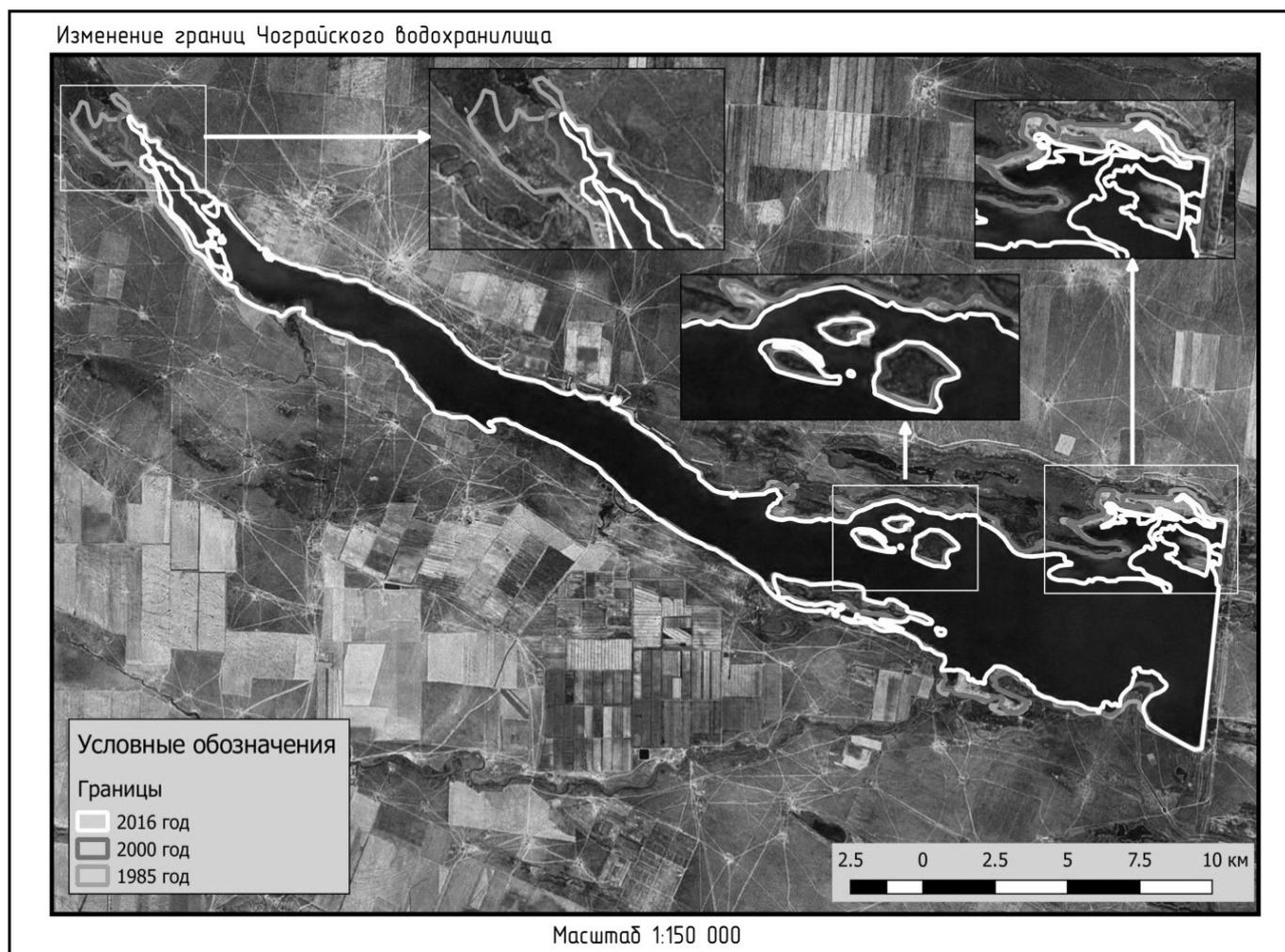


Рис. 4. Картографический материал: изменение границ Чограйского водохранилища.

проводит Прикавказский отдел государственного контроля, надзора и охраны водных биологических ресурсов. Распределение квот добычи ВБР прописано в №166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов». Данный вид природопользования разрешен в границах зоны регулирования любительского и спортивного рыболовства заказника.

Чограйское водохранилище сформировано путем образования плотины в долине реки Восточный Маныч и сдано в эксплуатацию в 1969 г. Водоем находится в пределах Арзгирского района Ставропольского края и Ики-Бурульского района Республики Калмыкии. Водные ресурсы в Чограйское водохранилище поступают из р. Терек по Терско-Кумскому и далее по Кумо-Манычскому каналам. Помимо этого, в него впадают реки Рагули, Голубь, Чограй. Максимальный расход воды из водохранилища составляет около 60 кубометров воды в секунду. Чограйское водохранилище располагается на Предкавказской равнине в Кумо-Манычской

впадине. Район исследования находится во II-м агроклиматическом районе, с гидротехническим коэффициентом (ГТК) равным 0,5–0,7, что соответствует крайне засушливой климатической зоне. Территория постоянно подвержена влиянию сухих ветров. Наибольший расход Черноземельского магистрального канала в 2015 г. наблюдался в апреле. В октябре, ноябре и декабре показатели отсутствуют. Наибольшие показатели стока — в марте. Наибольшие показатели расхода и стока Кумо-Манычского канала в октябре. Проведение анализа изменения береговой линии Чограйского водохранилища выполнено с помощью данных дистанционного зондирования Земли. При проведении анализа изменения береговой линии Чограйского водохранилища нами были использованы космические снимки со спутника Landsat 5 и 8. В нашем исследовании использовались 3 снимка со спутников Landsat: 1) Landsat 5–1985 и 2000 года; 2) Landsat 8–2016 года. В результате наложения снимков друг на друга получилась карта. Масштаб карты 1:150 000 (рис. 3).

На карте отчетливо видно, как с течением времени проявляется тенденция к изменению площади водохранилища в сторону уменьшения. Наибольшие размеры водохранилища имело в 1985 г., когда было окончено заполнение его до проектного уровня. Площадь Чограйского водохранилища при создании составляла 193 км² [3]. С каждым годом происходило уменьшение площади [7]. За 20 лет существования водохранилища общая площадь водоема сократилась почти на треть — до 130,4 км², объем и площадь водохранилища сокращаются по настоящее время. Минимальные отметки площади до 2000 г. были получены в маловодном 1999 г. и составляла около 113,4 км². Уровень водохранилища в 2000 году снизился на 3,2 м и, что вызвало изменение положения береговой линии: в западной части берег отступил на 3,2 км, на северном берегу — на 1,8 км, на южном — на 0,32 км. Так, площадь водохранилища, согласно геоинформационному мониторингу составляла: в 2009 г. около 93 км², в 2010 г. — 124 км², 2011 г. — 126 км² и 2012 г. — 112 км². Площадь с глубинами 1,5–2,0 м составляет 33% от общей площади водохранилища [5].

В 2020 году объем Чограйского водохранилища составлял около 127 млн. м³ при возможном 211,6 млн. м³, поступление воды по Кумо-Манычскому каналу состав-

ляло 11,4 м³/сек. Изменения уровня воды водохранилища составляют около 1 м в год [4]. Наиболее часто данные изменения зависят от подачи воды и уровня водозабора из него [6].

Наиболее заметные изменения произошли в месте сужения, в северо-западной части водохранилища. К 2016 году здесь образовались крупные острова, которых не было ранее.

В центральной части водоема изменения не так существенны, в то время как в северо-восточной его части произошло значительное уменьшение размера водного зеркала. Сдвинулась граница южного берега Чограйского водохранилища. В устье реки Чограй произошло сужение водной поверхности. Степень зарастания водохранилища, по сравнению с 1975 годом, значительно увеличилась, растительностью покрыто более 50% площади водоема. Наиболее крупные массивы прибрежно-водной растительности сосредоточены в западном районе, погруженные растения — в центральной озеровидной части водохранилища, биомасса которых достигает 1,2–1,5 кг/м². Это связано с тем, что уменьшается площадь водного зеркала и увеличивается площадь мелководий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин Н.Ф., Блохина Т.И. Водные ресурсы Ставрополя. — Ставрополь: Департамент «Ставрополькрайводхоз», 2001. — 288 с.
2. Бочковар А.С. Современное состояние ихтиофауны водной системы Маныч-Чограй // Современные рыбные ресурсы и аквакультура в Азово-Черноморском бассейне. Сборник совместных публикаций сотрудников ЮНЦ РАН и ДГТУ. Под общей редакцией Г.Г. Матишова, Б.Ч. Месхи, И.В. Карманова (отв. ред.). — Ростов-на-Дону, 2020. — С. 69–70.
3. Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М. 2005. Формирование гидролого-гидрохимического режима водоемов Маныча // Маныч-Чограй: история и современность (предварительные исследования). — Ростов-на-Дону: Эверест. — С. 20–36.
4. Настинова Г.Э., Сангаджиев М.М. Состояние водных ресурсов Республики Калмыкия как важнейший фактор здоровья населения // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. — 2014. — № 4(10). — С. 33–39.
5. Петрушкиева Д.С. Рыбные ресурсы Калмыкии и биологические основы их рационального использования: дис. ... канд. биол. наук. Астрахань. — 2002. — 181 с.
6. Сохраним для потомков (об охране растительного и животного мира Ставропольского края) / сост. С.М. Страхов. — Ставрополь: Кн. изд-во, 1984. — 239 с.
7. Ташнинова Л.Н., Богун Н.М., Санджиева А.Г. Характеристика прибрежной зоны системы Маныч-Чограй // Вестник Калмыцкого института социально-экономических и правовых исследований. — Элиста, 2006. — № 1. — С. 85–94.
8. Физическая география Ставропольского края: учебник для средних и старших классов общеобразовательной школы / под ред. Б.Л. Годзевича, В.А. Шальнева. — Изд. 5-е, перераб. и доп. — Ставрополь: Сервисшкола, 2009. — 176 с. + 16 ил.

© Друп Виктория Демировна (Sylvia_vica@mail.ru),

Траутвайн Светлана Анатольевна (svet-sk@yandex.ru), Сейфулина Галина Владимировна (seif.gala@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN ASSESSING THE STATE OF FOREST COMMUNITIES IN THE MIDDLE VOLGA REGION

A. Kozlova

Summary. The present study was conducted in order to show the possibility of using geoinformation technologies (methods of digital mapping and analysis of mapped data) in monitoring the state of forest communities. Thus, the Middle Volga region is a complex of territories heterogeneous in forest conditions and serving as a habitat for a number of ant species used in this work as bioindicators. The ability of red forest ants to form complexes in phytocenoses of a certain type can provide information about the state of the forest, its age characteristics, productivity, soil conditions on the territory of the phytocenosis. Thus, the results of this study are an example of the use of geoinformation systems in environmental monitoring of specific regions and can form the basis of environmental protection activities of protected areas associated with these subjects of the Russian Federation.

Keywords: geoinformation systems, digital mapping, Middle Volga region, phytocenoses, red forest ants.

Козлова Анастасия Александровна

Аспирант, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
akatoe-nn@yandex.ru

Аннотация. Настоящее исследование проведено с целью показать возможность применения геоинформационных технологий (методы цифрового картографирования и анализа картографируемых данных) в мониторинге состояния лесных сообществ. Так, Среднее Поволжье представляет собой комплекс территорий, разнородных по лесорастительным условиям и служащий местообитанием для ряда видов муравьев, используемых в данной работе в качестве биоиндикаторов. Способность рыжих лесных муравьев образовывать комплексы в фитоценозах определенного типа может дать информацию о состоянии леса, его возрастных особенностях, продуктивности, почвенных условиях на территории фитоценоза. Таким образом, результаты данного исследования являются примером применения геоинформационных систем в экологическом мониторинге конкретных регионов и могут лечь в основу природоохранной деятельности ООПТ, приуроченных к данным субъектам Российской Федерации.

Ключевые слова: геоинформационные системы, цифровое картографирование, Среднее Поволжье, фитоценозы, рыжие лесные муравьи.

Введение

Растительные сообщества представляют собой комплекс древообразующих пород различного видового, возрастного и бонитетного состава, приуроченный к определенным ландшафтным и почвенным условиям и являющийся средой обитания многочисленных видов животных. Отдельные таксономические группы обитателей фитоценозов, реагирующие на изменения лесорастительных условий, можно использовать в качестве биоиндикаторов. Особенности пространственного распределения и динамики их популяций дают возможность оценить состояние древостоя, почвы, общую благоприятность данной среды для конкретных видов.

В настоящем исследовании в роли биоиндикаторов выступают муравьи подрода *Formica* s.str. (*Hymenoptera*, *Formicidae*), населяющие южнотаеж-

ные, лиственные и лесостепные фитоценозы Поволжья. Особенности их расселения по лесным массивам оцениваются в контексте тяготения каждого вида к сообществам, образованным определенным типом древесных пород разного возраста, группы полноты и класса бонитета (продуктивности) леса. Предполагается, что леса, образованные спелыми и приспевающими категориями древостоя, способствуют образованию более крупных скоплений муравейников (далее — крупных комплексов) [3] по сравнению с молодыми, низкополнотными сообществами, несмотря на более высокую продуктивность последних. Вероятно, это объясняется длительностью процесса образования комплексов муравейников на определенной территории.

Оценка состояния фитоценозов Поволжья и его взаимосвязи с географическим распределением популяций муравьев по лесным массивам регионов проводилась с помощью геоинформационных систем



Рис. 1. Картохема регионов Поволжья

(далее — ГИС) [1;8] методом цифрового картографирования и анализа картографируемых данных с помощью инструментов платформы ArcGIS.

Характеристика района исследования

Поволжье — территория, примыкающая к среднему и нижнему течению Волги или близко от нее расположенная и экономически тяготеющая к ней. В природном отношении иногда к Поволжью относят также местности, находящиеся в верхнем течении Волги (от ее истоков до устья Оки).

Разделение Волжского бассейна на верхнюю, среднюю и нижнюю Волгу существует в географической литературе, по меньшей мере, с середины XIX в. Термины «Верхняя Волга», «Среднее Поволжье», «Нижнее Поволжье» широко используется в настоящее время.

Между тем, в различных отраслях знания, трактуются эти термины с определенными различиями [12]. Так, гидрологи разделяют течение Волги на верхнюю, среднюю и нижнюю части. К верхней Волге они относят отрезок волжской долины от истоков реки на Валдайской возвышенности до впадения в Волгу р. Оки у г. Нижнего Новгорода. Среднее течение Волги расположено между устьями рек Ока и Кама — двух крупнейших притоков Волги. Нижняя Волга, согласно гидрологам, начинается от устья Камы и заканчивается дельтой, впадающей в Каспийское море (см. рис. 1).

Территория Среднего и Нижнего Поволжья лежит на восточных участках Русской платформы и состоит из нескольких структурных элементов. Наиболее обширной является область Волжско-Камской антеклизы, в которую входят территории Приволжской возвышенности, Низменного Заволжья и Высокого Заволжья.

Прикаспийская синеклиза занимает области южнее г. Саратова. В её структуре обнаружены обширные следы прогиба плиты, характеризующиеся высокими мощностями осадочных отложений [9].

Почвенный покров Поволжья отличается разнообразием. На равнинных участках почвы распространяются в широтном направлении. По мере приближения к Каспийскому морю почвенные зоны приобретают концентрическую конфигурацию. Наряду с зональными типами почв широкое развитие имеют интразональные (интразональность связана с литологией) [10]. Основными типами почв, представленными в исследуемых регионах Среднего Поволжья, можно назвать подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные, в меньшей степени — аалювиальные.

Лесорастительное районирование Среднего Поволжья охватывает зону южной тайги (северные районы Нижегородской области), смешанных и широколиственных лесов (большая часть Нижегородской области, республик Чувашия, Марий Эл, Татарстан, отдельные районы Самарской области). На границе с Нижним Поволжьем, по направлению к Саратовской области, фитоценозы представлены преимущественно лесостепями [6].

В настоящем исследовании проводится оценка лесорастительных условий (преобладающий тип и средний возраст лесобразующих пород, полнота и бонитет леса) и их влияние на географическое распределение популяций биоиндикаторов в Нижегородской, Самарской областях, республиках Марий Эл, Мордовия и Чувашия.

Материалы и методы исследования

Полевые сборы по видам-биоиндикаторам

Материалами исследования послужили результаты полевых сборов 2005–2021 г. на территории Нижегородской области, республик Марий Эл, Мордовия, Чувашия и Татарстан. Данные собирались преимущественно сотрудниками и студентами кафедры ботаники и зоологии ННГУ им. Н.И. Лобачевского, а также сотрудниками особо охраняемых природных территорий, информация по которым легла в основу настоящего исследования [2;4;5;7;11].

Всего было обнаружено 91 поселение рыжих лесных муравьев, относящихся к следующим видам: *Formica rufa* (рыжий лесной муравей), *F. polyctena* (малый лесной муравей), *F. aquilonia* (северный лесной муравей), *F. pratensis* (луговой муравей), *F. lugubris* (волосистый лесной муравей) и *F. truncorum*

(красноголовой муравей). Распределение гнезд по изучаемым регионам Среднего Поволжья преимущественно неоднородно, что впоследствии показано на цифровой карте ArcGIS.

Оценка количественных показателей

Сведения о лесных покровах ООПТ исследуемых регионов предоставлены дирекциями соответствующих организаций и открытыми данными Федерального агентства лесного хозяйства (распределение лесного фонда по форме ГЛР № 5) за 2022 г.

Форма ГЛР № 5 включает в себя следующие параметры:

- ◆ тип лесобразующей породы (хвойная, твердолиственная, мягколиственная);
- ◆ возрастная группа лесобразующей породы (молодняки, средневозрастные, спелые и приспевающие);
- ◆ группа полноты леса (степень сомкнутости кроны на 1 га леса, оценивается в долях единицы);
- ◆ класс бонитета леса (степень продуктивности леса, оценивается от I класса — наивысший бонитет до V — наименьшая продуктивность леса на 1 га).

Форма ГЛР опубликована на официальном Интернет-ресурсе Федерального агентства лесного хозяйства и заполнена отдельными данными по каждому региону. В дальнейшем количественные данные, отображенные в форме, выводятся на интерактивную цветовую карту [16].

Картографирование данных

Визуализация данных о состоянии лесных покровов регионов Поволжья и конкретных лесных массивов, где были обнаружены комплексы, осуществлялась при помощи инструментов платформы Google Earth (спутниковые изображения, позволяющие оценить густоту и равномерность распределения лесных массивов) и картографического сервиса ArcGIS Online [13] (для создания комплексной карты фитоценозов Среднего Поволжья и сопредельных регионов).

ArcGIS представляет собой полную систему, которая дает возможность собирать, преобразовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию [14]. В настоящей работе платформа применялась для картографирования комплексов и малых поселений муравьев *Formica* s. str. Данные были представлены в виде линейного (границы регионов Среднего и Нижнего Поволжья) и точечного (информация о найденных муравейниках) слоев.

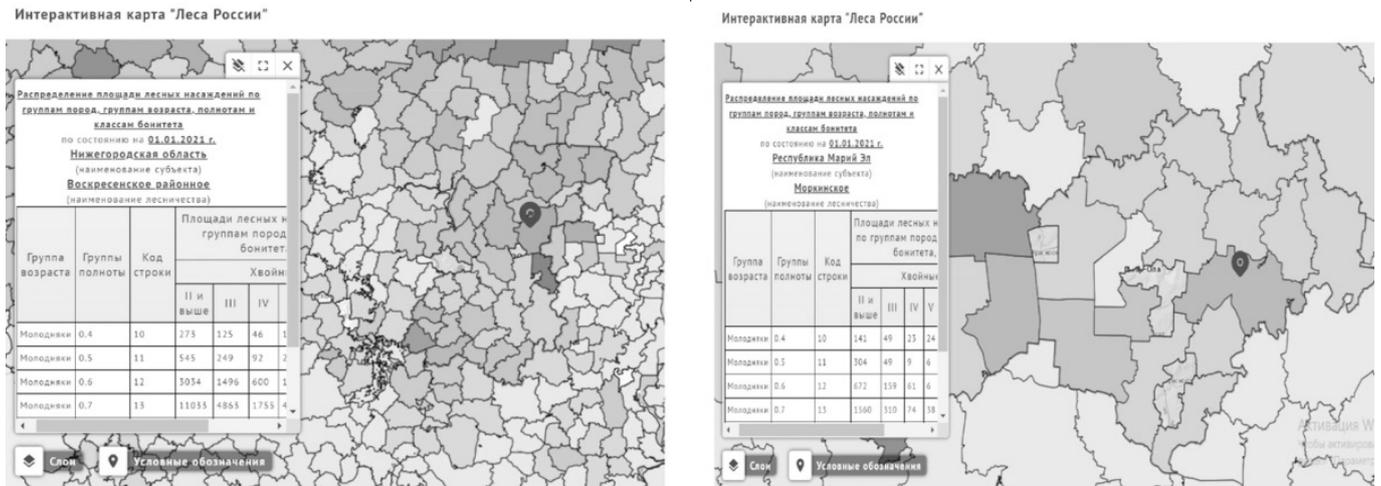


Рис. 2. Вывод на интерактивную карту данных из формы ГЛР № 5 по отдельным лесничествам регионов Среднего Поволжья

Для получения детальной информации о структуре комплексов в настоящем исследовании был проведен анализ плотности поселений муравьев *Formica s. str.* в заданных регионах с помощью инструмента «Подсчет плотности» [15]. Данная опция позволяет классифицировать картографические объекты на классы плотности 1–10, за единицу измерения принято количество муравейников на км² и подтвердить либо опровергнуть первоначальные сведения о величине обнаруженного комплекса (более крупные комплексы соответствуют более высокому классу плотности на карте).

Наиболее точные сведения о пространственном распределении комплексов муравейников можно получить с помощью инструмента «Подсчет горячих точек» [16]. Этот алгоритм предусматривает деление исследуемой территории на квадраты (размер стороны квадрата регулируется масштабом карты) и подсчет точек в одном квадрате. При текущем экстенде карты (регионы Поволжья) и количестве точек со скоплениями муравейников сторона квадрата составляет 32 км, необходимое количество точек в одном квадрате — 4–6. Таким образом, количество «горячих» точек на карте соответствует количеству крупных комплексов муравейников на исследуемой территории.

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась на онлайн-платформе StatTech (Россия). Это сервис статистического анализа, позволяющий рассчитывать случайность или закономерность полученных результатов. Табличные данные формата *.xls, ставшие основой для цифровой карты, были загружены на платформу и разделены по категориальному признаку.

В качестве независимой переменной рассматривался тип фитоценоза, оценка состояния которого проводилась с помощью биоиндикаторов, в качестве зависимой переменной — число комплексов муравейников, образованных разными видами муравьев подрода *Formica s. str.* В дальнейшем рассчитывалось соотношение количества комплексов в хвойных и лиственных фитоценозах, которые в случае достоверности данных должны соответствовать критерию статистической значимости $p < 0.05$. В случае несоответствия полученных данных критерию статистической значимости можно говорить об отсутствии прямой корреляции между видом муравья и типом растительного сообщества [17].

Результаты исследования

При оценке лесорастительных условий на исследуемых территориях по формам ГЛР № 5 было выявлено, что подавляющее большинство фитоценозов представлено массивами насаждений хвойных и хвойно-мягколиственных, значительно реже — твердолиственных пород, отличающихся высокой полнотой (плотность стояния на 1 га около 0,7–0,9 в долях единицы) и высоким либо средним бонитетом (II–III классы продуктивности) (см. рис. 2).

Результаты картографического анализа показывают неравномерность распределения хвойных и мягколиственных пород и неизбежно следующее за этим гетерогенное распределение комплексов муравейников по исследуемым регионам. Известно, что часть лесных массивов Нижегородской, Самарской областей, республик Марий Эл, Чувашия и сопредельной республики Мордовия находятся на особо охраняемых природных территориях (далее — ООПТ). Визуализация на карте

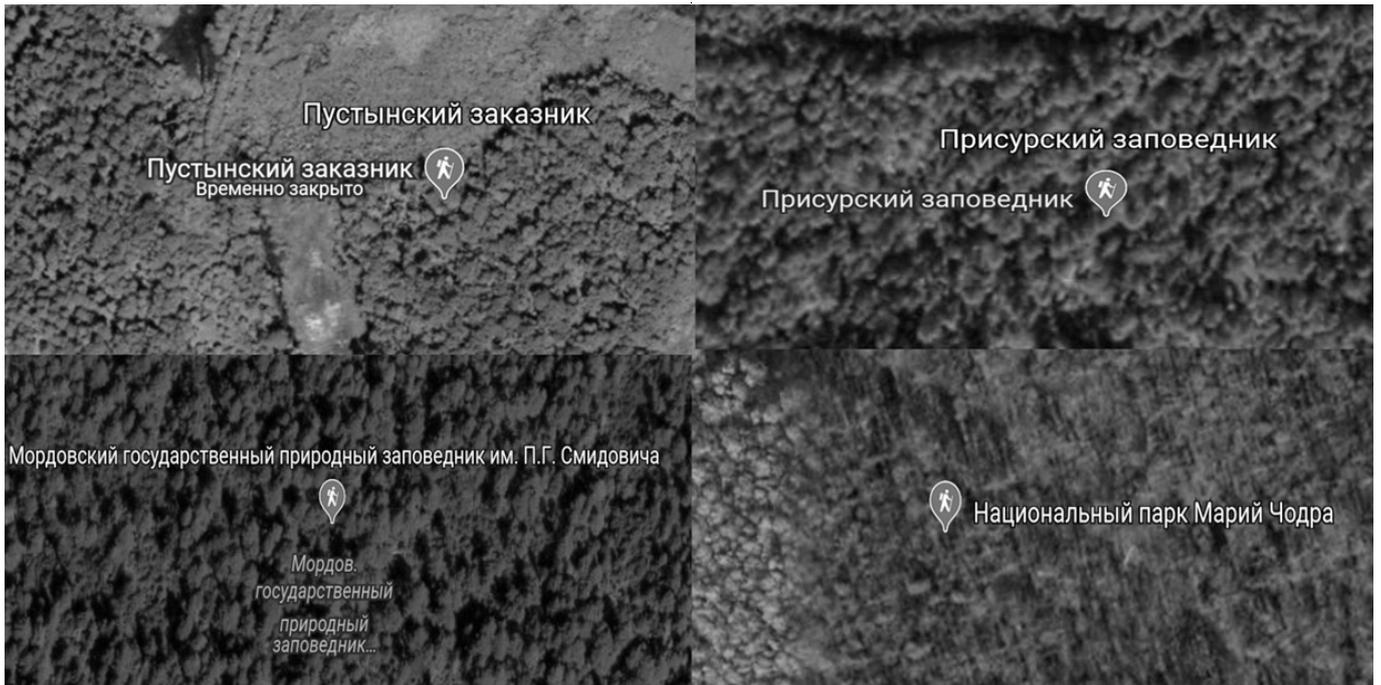


Рис. 3. Спутниковые изображения массивов древостоя в различных ООПТ Среднего Поволжья и сопредельных территорий

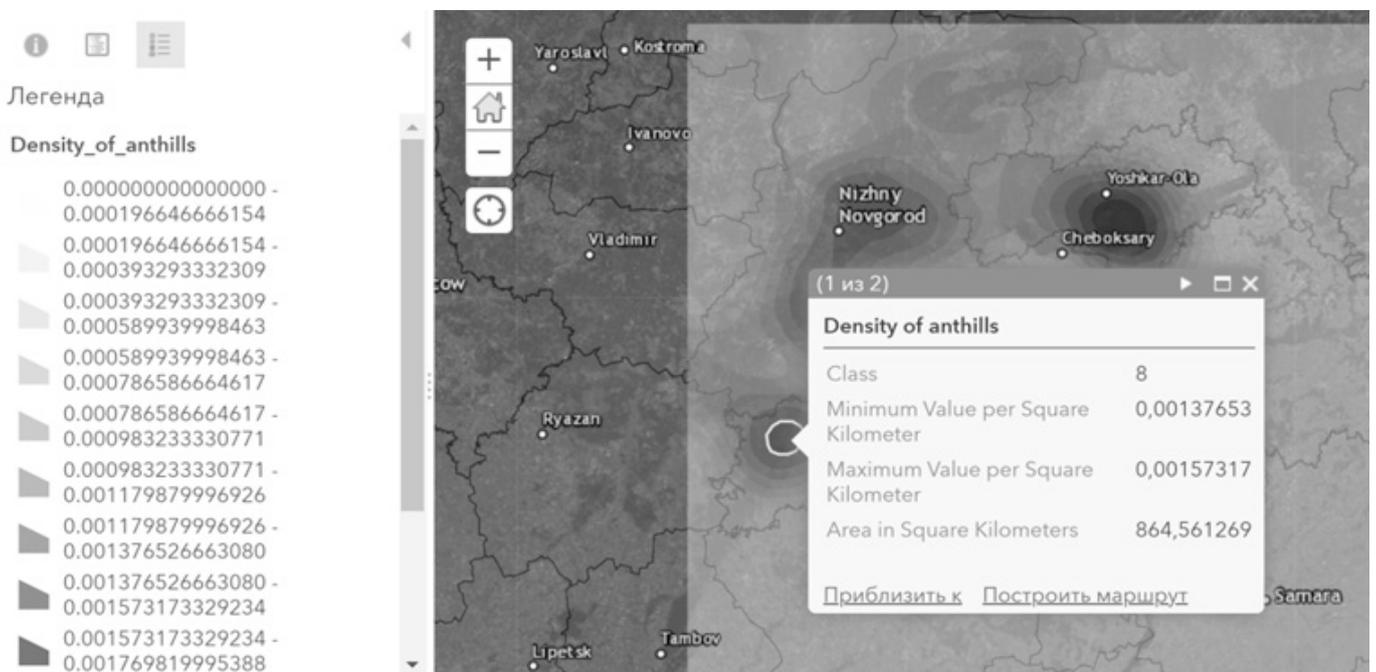


Рис. 4. Оценка плотности популяций муравьев *Formica* s.str. в фитоценозах Среднего Поволжья



Рис. 5. Распределение крупных комплексов муравейников *Formica s. str.* по фитоценозам Поволжья

Google Earth показывает большую плотность древесной стоя в Арзамасском районе Нижегородской области (территория Пустынского заказника) и в окрестностях Алатырского района республики Чувашия (территория Присурского заповедника) (см. рис. 3).

Результатом оценки распределения популяций муравьев по исследуемым территориям явилась карта Среднего Поволжья со следующими слоями: линейный слой административных границ регионов и точечный слой с данными о комплексах муравейников *Formica s. str.* (каждая точка несет в себе информацию о конкретном муравейнике — название населенного пункта, тип фитоценоза, вид муравья, дата сбора данных).

При оценке плотности поселений *Formica s. str.* на цветовой карте показаны объекты 7–9 классов плотности на севере Нижегородской области, границе Нижегородской области и республики Чувашия, что соответствует крупным комплексам муравейников (>20 гнезд в одном комплексе). Объекты 4–6 классов плотности в Самарской области и республике Марий Эл соответствуют малым комплексам (< 20 муравейников). Следует отметить, что районы с высокой плотностью поселений муравьев территориально приурочены к особо охраняемым природным территориям (ООПТ) регионального значения (Керженский государственный природный заповедник, Пустынский заказник,

национальный парк Марий Чодра), лесные массивы в пределах которых находятся под охраной, их средний возраст выше и способствует образованию комплексов (см. рис. 4).

Карта «горячих точек» более детализирована относительно карты плотности поселений муравьев *Formica s. str.*, что объясняется делением исследуемой территории на квадраты. В настоящем исследовании на квадраты стороной 32 км делятся растительные сообщества не всего Поволжья в целом, а лишь тех территорий, где обнаружены комплексы муравейников. Обозначения «горячих точек» на цветовой карте соответствуют локализации крупных и обширных комплексов в ООПТ и лесных массивах Нижегородской и Самарской областей, республики Чувашия (см. рис. 5). Данные локалитеты соответствуют высокополнотным, среднебонитетным лесонасаждениям, преимущественно хвойным и хвойным с примесью мягколиственных пород.

Статистическая обработка результатов

Проверка статистической достоверности результатов проводилась на базе платформы «СтатТех» (Россия). При оценке случайности или закономерности распределения комплексов муравейников по регионам среднего Поволжья использовался метод точного критерия

Таблица 1. Распределение поселений разных видов муравьев *Formica* s.str. в хвойных и лиственных фитоценозах Среднего Поволжья

Параметр	Категория	Вид							p
		<i>F. aquilonia</i>	<i>F. lugubris</i>	<i>F. polyctena</i>	<i>F. pratensis</i>	<i>F. rufa</i>	<i>F. truncorum</i>	<i>F. polyctena</i> * <i>F. rufa</i>	
	хвойный	1 (3.45%)	–	5 (17.24%)	13 (44.83%)	8 (27.59%)	1 (3.45%)	1 (3.45%)	
Тип фитоценоза	лиственный	14 (25%)	2 (3.57%)	12 (21.43%)	5 (8.93%)	13 (23.21%)	7 (12.5%)	3 (5.36%)	0.001

Фишера. Соотношение между максимальными и минимальными значениями проверяемого признака ограничивалось критерием статистической значимости p (различия между искомыми признаками статистически значимы при $p < 0.05$)

Было установлено наличие прямой корреляции между типом растительного сообщества и видами муравьев, населяющих его — при обработке экспортированных на карту табличных данных программой критерий статистической значимости составил $p = 0.001$ (см. таблицу 1.). Таким образом, показано большее сгущение муравейников в крупные комплексы в хвойных лесах с преобладанием поселений северного (*Formica aquilonia*) и малого (*F. polyctena*) лесных муравьев. Результаты соответствуют картографическим данным, отображающим наличие крупных комплексов муравейников на севере Нижегородской области и в республике Чувашия.

Заключение

Исходя из результатов проведенного исследования, можно отметить, что лесорастительный покров регионов Среднего Поволжья имеет нечеткую структуру разграничения (пограничные районы на стыке южной тайги и смешанного леса, широколиственного леса и лесостепи и т.д.). Подобные особенности распределения фитоценозов являются благоприятными для рыжих лесных муравьев (подрод *Formica* s.str.), используемых в настоящем исследовании в качестве индикаторов состояния леса.

Картографическая картина данных позволяет сделать вывод о тяготении муравьев данного подрода

к средневозрастным хвойным лесам, произрастающим на подзолистых почвах. Так, крупные комплексы муравейников обнаружены в южнотаежных районах севера Нижегородской области. Лиственные леса и лесостепи не способствуют комплексообразованию — в фитоценозах такого типа биоиндикаторы встречаются преимущественно в одиночных муравейниках или малых разрозненных поселениях. Это объясняется совокупностью почвенных, ландшафтных, геоботанических факторов среды, оценка роли которых ложится в основу будущих исследований.

Также следует отметить эффективность использования ГИС в оценке состояния лесных сообществ. Комплексные карты позволяют дать полную картину экологической ситуации в исследуемом регионе и спрогнозировать дальнейшую динамику состояния фитоценоза и поведения биоиндикаторов. Несмотря на внешнеполитическую ситуацию, усложняющую доступ к программному обеспечению ArcGIS, применение картографических сервисов в дальнейшем не будет приостановлено — данную платформу может заменить отечественное ПО («ГИС-Интегро», «ГИС-Аксиома» и т.д.), также дающее возможность создания, анализа и регулярного дополнения комплексных карт для дальнейшего наблюдения экологической обстановки в фитоценозах Поволжья.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю — кандидату биологических наук, доценту кафедры ботаники и зоологии ННГУ Владимиру Александровичу Зрянину — за предоставленные данные и помощь в ходе исследовательской работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаевский Л.М., Вахромеева Л.А. Картографические проекции. М.: Недра, 1992. 293 с.
2. Воробьева И.Г. Состояние поселений рыжих лесных муравьев в лесах республики Марий Эл в условиях сильного антропогенного пресса // Муравьи и защита леса: Мат. XII Всерос. мирмекол. симп. Новосибирск, 2005. С. 23–26.
3. Захаров А.А., Длусский Г.М., Горюнов Д.Н., Гилёв А.В., Зрянин В.А., Федосеева Е.Б., Гороховская Е.А., Радченко А.Г. Мониторинг муравьев Формика. М.: КМК. 2013. 99 с.
4. Зрянин В.А., Зрянина Т.А. Новые данные о фауне муравьев (Hymenoptera, Formicidae) Среднего Поволжья // Успехи современной биологии. 2007. Т. 127, № 2. С. 226–240.

5. Зрянин В.А., Козлова А.А. База геоданных по комплексам муравейников *Formica s. str.* Среднего Поволжья // Муравьи и защита леса: Мат. XV Всерос. мирмекол. симп. Екатеринбург, 2018. С. 161–165.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: Учеб. — М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
7. Корочкина Н.И., Коноплева Е.Е., Зрянина Т.А. Популяционная структура *Formica aquilonia* (Hymenoptera, Formicidae) на границе бореальных и суббореальных ландшафтов в Поволжье // Зоол. журнал. 2014. Т. 93, № 4. С. 559–569.
8. Лебедев П.П. Теория и методы кадастрового картографирования с применением географических информационных систем (ГИС). М.: ГУЗ. 2001. 128 с.
9. Мильков Ф.Н. Среднее Поволжье: физико-географическое описание. М.: Издательство Академии Наук СССР, 1953. 263 с.
10. Перепелкина Е.Б. Изучение минеральных и органических компонентов водопрочных агрегатов гумусово-аккумулятивных горизонтов серых лесных почв Среднего Поволжья. Казань: КГУ, 2004. 125 с.
11. Ручин А.Б., Зрянин В.А. К фауне муравьев (Hymenoptera: Formicidae) республики Мордовия // Муравьи и защита леса. Материалы XIV Всероссийского мирмекологического симпозиума. 2013. С. 108–109.
12. Ступишин А.В. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1964. 197 с.
13. Alias Abdul-Rahman, Morakot Pilouk. Spatial Data Modelling for 3D GIS. 2008. 287 P.
14. Chapman A.D. Quality control and validation of point-sourced environmental resource data in Spatial Accuracy Assessment // Land Information Uncertainty in Natural Resources. Lowell K. and Jatou A. eds. 1999. P. 409–418.
15. South A. R-Worldmap: new R package for mapping global data // The R Journal. 2011. Vol. 3, № 1. P. 35–43.
16. Интерактивная карта «Леса России» (предоставлена Федеральным агентством лесного хозяйства) — [электронный ресурс] — <https://maps.roslesinforg.ru/#/> (дата обращения 10.01.2022)
17. Статистическая обработка данных — [электронный ресурс] — <https://stattech.ru/> (дата обращения 10.01.2022)

© Козлова Анастасия Александровна (akatoo-nn@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

ИЗУЧЕНИЕ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ РОДА *ACHILLEA* L. ФЛОРЫ СИБИРИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

STUDY OF CLOSELY RELATED SPECIES OF THE GENUS *ACHILLEA* L. FLORA OF SIBERIA BY MOLECULAR GENETIC METHODS

**Yu. Kulemin
A. Kuprijanov**

Summary. There are 12 species of the genus *Achillea* L. in the flora of Siberia. Many of them have high polymorphism and weak differentiation in most diagnostic morphological features. The species *A. sergievskiana* Schauo et Shmakov, *A. schauloi* Stepanov, *A. kuprijanovii* Stepanov included in *Achillea* aggr. *asiatica* are particularly difficult to diagnose. To distinguish them, molecular genetic methods were used with the allocation of informative ISSR primers. To detect DNA polymorphism, samples of the lower stem leaves were taken from 22 samples of *A. asiatica*; 5 samples of *A. kuprijanovii*, three samples of *A. sergievskiana* and *A. schauloi*. These species are characterized by different ecology of their growing places: *A. asiatica* — plain meadow species; *A. schauloi* — meadow-steppe species; *A. kuprijanovii* — medium mountain species (1100–1500 m above sea level); *A. sergievskiana* — a high-altitude species (1900–2200 m. Computer analysis of molecular genetic polymorphism of DNA showed a high degree of isolation of *A. sergievskiana* and *A. schauloi* and insufficient isolation of *A. kuprijanovii* from *A. asiatica*.

Keywords: Flora of Siberia, *Achillea* L., *Achillea sergievskiana* Schauo et Shmakov, *Achillea schauloi* Stepanov, *Achillea kuprijanovii* Stepanov, molecular genetic methods.

Кулемин Юрий Евгеньевич

Мл. научн. сотр., «Кузбасский ботанический сад»
Федерального исследовательского центра угля
и углехимии СО РАН, г. Кемерово
kulemin_y@mail.ru

Куприянов Андрей Николаевич

Д-р биол. наук, профессор, «Кузбасский
ботанический сад» Федерального исследовательского
центра угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово
kupr-42@yandex.ru

Аннотация. Во флоре Сибири насчитывается 12 видов рода *Achillea* L. Многие из них обладают высокой полиморфностью и слабой разграниченностью по большинству диагностических морфологических признаков. Особенно сложно диагностируются виды *A. sergievskiana* Schauo et Shmakov, *A. schauloi* Stepanov, *A. kuprijanovii* Stepanov, входящие в *Achillea* aggr. *Asiatica*. Для их разграничения применены молекулярно-генетические методы с выделением информативных ISSR-праймеров. Для выявления полиморфизма ДНК были отобраны образцы нижних стеблевых листьев у 22 образцов *A. asiatica*; 5 образцов *A. kuprijanovii*, по три образца *A. sergievskiana*, *A. schauloi*. Эти виды характеризуются различной экологией мест произрастания: *A. asiatica* — равнинный луговой вид; *A. schauloi* — лугово-степной вид; *A. kuprijanovii* — среднегорный вид (1100–1500 м. над у.м.); *A. sergievskiana* — высокогорный вид (1900–2200 м. над у. м.). Компьютерный анализ молекулярно-генетического полиморфизма ДНК показал высокую степень обособленности *A. sergievskiana*, и *A. schauloi* и недостаточную обособленность *A. kuprijanovii* от *A. asiatica*.

Ключевые слова: Флора Сибири, *Achillea* L., *Achillea sergievskiana* Schauo et Shmakov, *Achillea schauloi* Stepanov, *Achillea kuprijanovii* Stepanov, молекулярно-генетические методы.

Введение

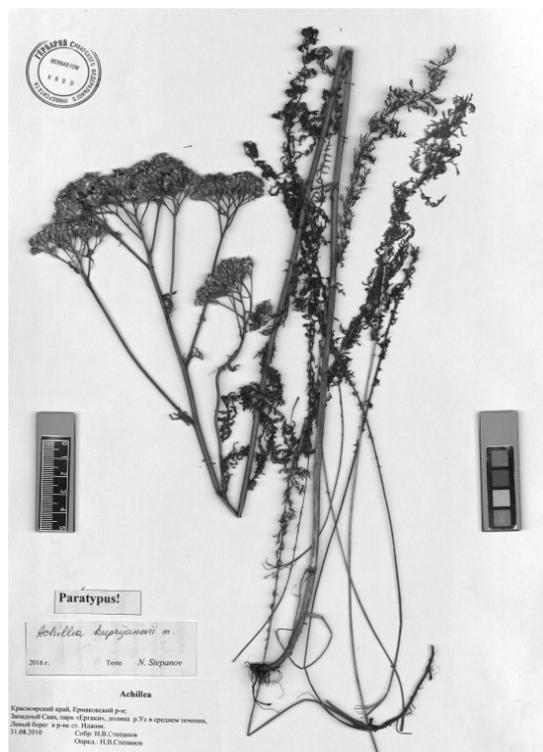
Род *Achillea* L. содержит около 150 видов, произрастающих в странах северного полушария; наиболее многочисленны в странах Европы, Средней Азии и в Северной Америке [1–3].

Первое номенклатурное описание рода *Achillea* в современном его понимании было дано К. Линнеем

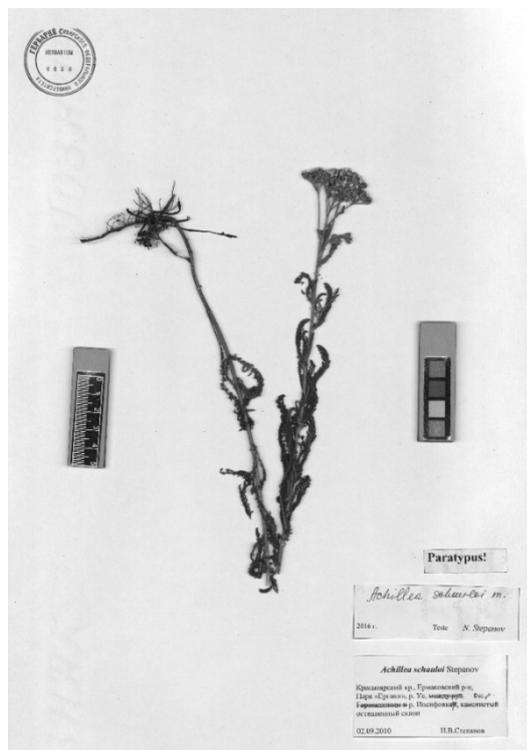
[4: 867–872]. Он включил в состав рода девятнадцать видов. Для разграничения видов К. Линней использовал морфологические показатели, которые используются и в настоящее время: форму листовой пластинки, её расчленение, опушение листа и его симметричность, характер окончания листа и форму сегментов листа или его зубцов. Изначально первые сведения о видах *Achillea* L. Сибири привел К. Ледебур [5] во флоре Алтая. Он приводит описание 3 видов (без видов рода *Ptarmica*): *A.*



А



Б



В



Г

Рис. 1. Типы изученных видов: А — *A. asiatica* Serg.: А.— голотип; Б — *A. kuprijanovii* Stepanov — паратип; В — *A. schauloi* Stepanov — паратип; С — *A. sergievskiana* Schaulo et Shmakov — голотип.

Таблица 1. Места отбора проб для проведения молекулярно-генетического анализа

№№	Образцы
<i>Achillea asiatica</i> Serg.	
103	Красноярский край, Казачинский р-он, село Вороновка, мельничный бугор, 10.08.2016
104	Красноярский край, Ирбейский район, д. Юдино. На лесных полянах и опушках. 25.07.2014
191	Окр. г. Барнаул, пос. Южный, окр. ЮСБС. 53.2050°с.ш 83°46'27" в.д. 28.09.21
193	Кемеровская обл., Новокузнецкий р-он, Подкатунская грива, 58,218908° с.ш. 87.25119° в.д. 02.07.21.
198	Кемеровская обл., Тисульский р-он, придорожный водоем, возле пос. Городок 55.62155°с.ш. 88.38589° в.д. 09.08.21.
205	Окр. г. Кемерово, Серебряный Бор, сосновый лес, 55,2115°с.ш. 86,0523° в.д. 25.07.21
210	Красноярский край, Ермаковский р-он, окр. пос. Танзыбей. 53.14152°с.ш. 92,94696° в.д. луга. 27.07.21.
211	Красноярский край, Новоселовский р-н, окр. пос. Новоселово, 55,0059°с.ш. 90,5812° в.д., берег водохранилища. 26.07.21
214	Хакасия, окр. пос. Карчалык, березовый лес, 54,50312° с.ш. 90,86097° в.д., 452 м над у.м. 27.07.2021.
224	Красноярский край, Новоселовский р-н, окр. пос. Новоселово, 55,0059°с.ш. 90,5812° в.д., берег водохранилища. 26.07.21
225	Якутия, склон сопки с редкими лиственницами. 62,29943° с.ш. 129.82518° в.д. 14.07.2021.
237	Якутия, склон сопки с редкими лиственницами. 62,29943° с.ш. 129.82518° в.д. 14.07.2021.
238	Якутия, Булгуннях-бугор, образованный мерзлотным вспучиванием, 6–7 м поросший редкими лиственницами, между которыми солонцы и даже солончаки. 62,44489°с.ш. 129,77862° в.д., 196 м над у.м. 14.07.21.
240	Кемеровская обл., Яйский р-он, с. Улановка, березовый лес, 53,44267° с.ш. 86,16421° в.д. 23.08.2021
241	Кемеровская обл., Кемеровский р-он, окр. с. Сухая речка, 55,23915° с.ш. 86,13303° в.д. 26.08.21
242	Томская обл., Асиновский р-он, окр. с. Больше-Дорохово, пойма р. Кия, берег. 56.38021°с.ш. 86,20470°в.д. 19.08.2021.
243	Томская обл., Зырянский р-он, окр. с. Чердаты, пойма р. Чулым, луг. 56,93864° с.ш. 86,90219° в.д. 20.08.21
244	Томская обл., Зырянский р-он, окр. с. Чердаты, пойма р. Чулым, 56,95430° с.ш. 86,89107° в.д. 20.08.21
245	Томская обл., Асиновский р-он, окр.с. Больше-Дорохово, пойма р. Кия, берег. 56.38021°с.ш. 86,20470°в.д. 19.08.2021.
246	Томская обл., окр. с. Чумашкино, покос. 14.08.2021
<i>Achillea kuprijanovii</i> Stepanov	
1	Красноярский край, природный парк «Ергаки», админист. корпус. 52,5000° с.ш. 093,2100° в.д. 09.09.2019.
5	Тыва, заповедник «Азас», возле избы, лиственнич в верх. реки Туланогин. 50,79317° с.ш. 094.51775° в.д., 1735 м над у.м. 07.09.2019.
21	Красноярский край, природный парк «Ергаки», 52,5000° с.ш. 093,2100° в.д. 09.09.2019.
22	Красноярский край, природный парк «Ергаки», возле админист. корпуса 52,5000° с.ш. 093,2100° в.д. 09.09.2019.
23	Тыва, заповедник «Азас», ерниковая тундра с разреженными лиственничком, верх. реки Туланогин. 50.79317° с.ш. 094.51775° в.д., 1735 м над у.м. 07.09.19.
<i>Achillea schauloi</i> Stepanov	
102	Красноярский край, Ермаковский р-н, парк Ергаки, р. Ус, м/у руч. Герасимовым и р. Иосифовкой, каменистый остепненный склон. 02.09.2010
120	Хакасия, Бейский р-он, близ деревни Бея, луг. 25.06.1983
134	Красноярский край, Ирбейский р-он, д. Юдино. На лесных полянах и опушках. 25.07.2014.
<i>Achillea sergievskiana</i> Shaulo & Shmakov	
105	Красноярский край, Ермаковский р-он, парк Ергаки, верховья р. Ус, окр. Черного озера, субальпийский низкотравный луг. 12.08.2020
135	Тува, Джун-Хемчинский район, северный склон, «Танну-Ола», опушка лиственного леса, h=1440 м над у.м. 30.06.1947
139	Якутская ССР, пойма реки Пеледуй (левый приток Лены) в высоком овраге. 24.06.1947.
159	Северо-западное побережье оз. Байкал, «Черная падь», луг, 08.07.1958.

Таблица 2. Характеристика праймеров, использованных в ISSR-PCR

Название	Последовательность (5'->3')	Кол-во амплифицированных фрагментов
17898A	(CA) ₆ AC	11
17898B	(CA) ₆ GT	13
17899A	(CA) ₆ AG	10
17899B	(CA) ₆ GG	10

	17898A_1	17898A_2	17898A_3	17898A_4	17898A_5	17898A_6	17898A_7	17898A_8	17898A_9	17898A_10	17898A_11	178988_1	178988_2	178988_3	178988_4
serg-105	+	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
serg-135	+	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
serg-159	+	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
schau-102	□	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
schau-120	□	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
schau-134	□	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
kupr-1	×	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0
kupr-5	×	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
kupr-21	×	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
kupr-22	×	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
kupr-23	×	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
as-242	●	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-237	●	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
as-238	●	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-240	●	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
as-244	●	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
as-243	●	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
as-203	●	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
as-211	●	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
as-224	●	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-225	●	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
as-193	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-191	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
as-164	●	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-163	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-250	●	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-249	●	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
as-246	●	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
as-245	●	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
as-241	●	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
as-214	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
as-210	●	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
as-205	●	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
as-198	●	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Фрагмент матрицы построенной в программе PAST 4.08.

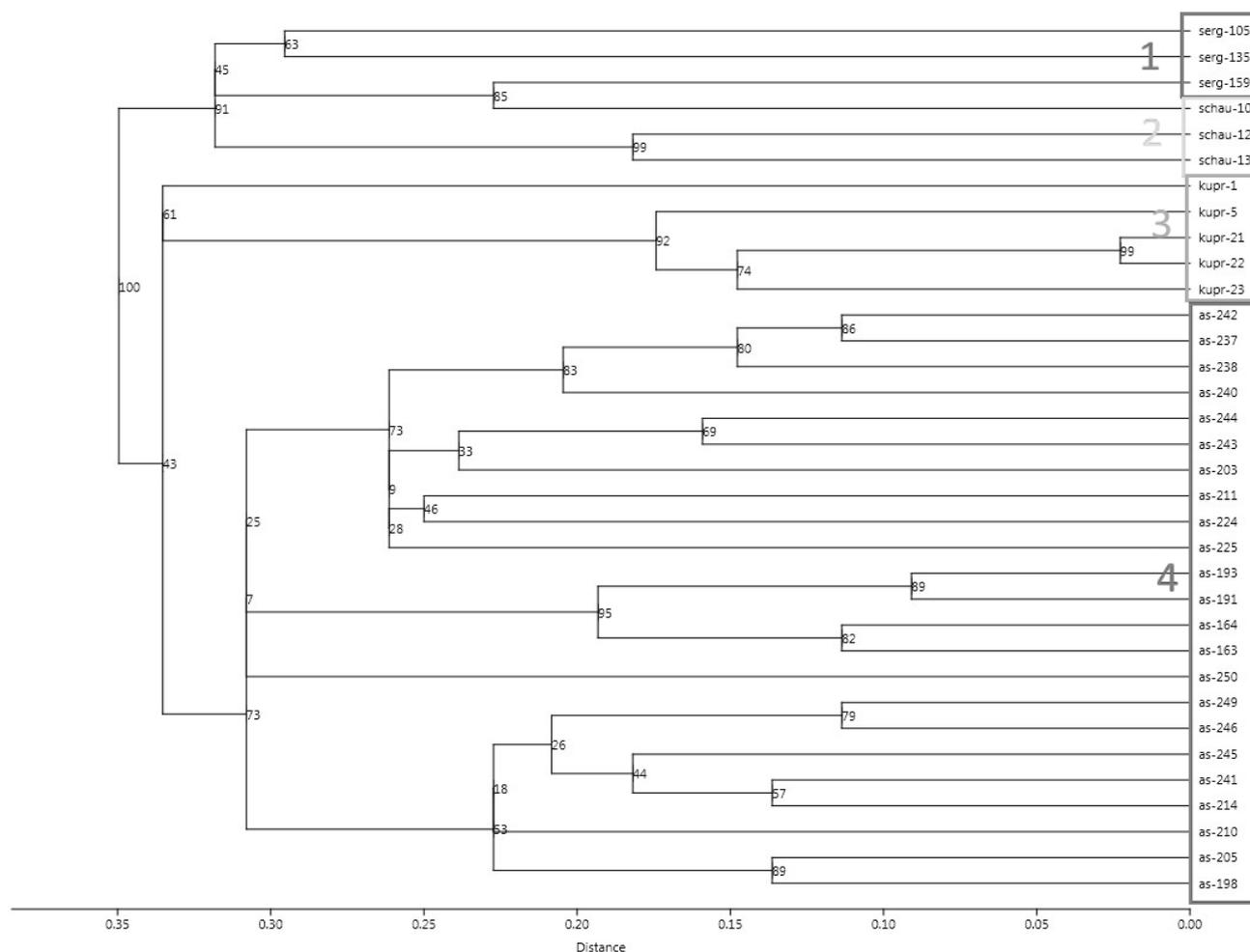


Рис. 3. UPGMA дендрограмма построенная на основе ISSR данных для видов *A. sergievskiana* Schaulo et Shmakov (1), *A. schauloi* Stepanov (2), *A. kuprijanovii* Stepanov (3) и *A. asiatica* Serg. (4) с использованием коэффициента Gower.

millefolium L., *A. magna* L. и *A. nobilis* L. Д.Н. Шауло [6] во «Флоре Сибири» для территории Сибири приводит 5 видов: *A. asiatica*, *A. millefolium*, *A. nobilis*, добавляя европейский вид *A. inundata* Kondr. и аркто-полярный *A. nigrescens* (E. Mey.) Rydb. В Конспекте флоры Азиатской России [7] В.В. Зуев приводит 8 видов, относящихся к трем секциям: Sect. *Micranthae* Klok. et Krytzka: *A. micrantha* Willd., *A. biebersteinii* Afan.; Sect. *Nobilia* Klok. et Krytzka: *A. nobilis* L.; Sect. *Millefolium* (Mill.) Koch: *A. asiatica* Serg., *A. inundata* Kondr., *A. millefolium* L., *A. nigrescens* (E. Mey) Rydb., *A. schmakovii* A. Kuprijanov, *A. setacea* Waldst. et Kit. В последнее десятилетие описано четыре вида: *A. kuprijanovii* Stepanov, *A. schauloi* Stepanov, *A. sergievskiana* Schaulo et Shmakov, *A. jennisseensis* Stepanov

Виды рода *Achillea* L., особенно секции *Millefolium* (Mill.) Koch, обладают высокой полиморфностью, а также слабой разграниченностью по большинству диагностических морфологических признаков [8]. Особенно сложно диагностируются виды *A. sergievskiana*, *A. schauloi*, *A. kuprijanovii*, входящие в *Achillea* aggr. *asiatica*. Целью данного сообщения является использование молекулярно-генетических маркеров для выявления внутривидового генетического разнообразия близкородственных видов.

Объекты и методы исследования

Для выявления полиморфизма ДНК рода *Achillea* были отобраны образцы нижних стеблевых листьев

у 22 образцов *A. asiatica*; 5 образцов *A. kuprijanovii*, по три образца *A. sergievskiana*, *A. schauloi*, которые характеризуют распространение видов на территории Сибири (табл. 1). Эти виды характеризуются не только морфологическими признаками, но также экологией мест произрастания: *A. asiatica* — равнинный луговой вид; *A. schauloi* — лугово-степной вид по склонам каменистых сопок; *A. kuprijanovii* — среднегорный вид, обитающий в пределах 1100–1500 м. над у.м.; *A. sergievskiana* — высокогорный вид, обитающий в пределах 1900–2200 м. над у.м.

Для выявления полиморфизма ДНК рода *Achillea* был произведен выбор наиболее информативных ISSR-праймеров производства компании «СИНТОЛ», Москва. Для этого было протестировано 32 ISSR-праймера, из которых четыре показали наилучшие результаты для дальнейшего анализа (табл. 2). Каждый праймер индивидуально анализировали с помощью ПЦП на использовании ISSR-метода с геномной ДНК.

Продукты амплификации разделяли в 1,5% агарозном геле и 0,5 М ТАЕ-буфере в присутствии бромистого этидия при 80 В в течение 2,0 часов в горизонтальной электрофорезной камере Sub Cell GTSytem (Bio-Rad, США) [9]. После электрофореза гели были сфотографированы в системе гель-документации Gel-Doc XR (Bio-Rad, США). Для компьютерной обработки полученные результаты были представлены в виде матрицы бинарных данных. ISSR-профили анализировали по наличию (1) или отсутствию (0) полос на геле (Рис. 2). Компьютерный анализ молекулярно-генетического полиморфизма ДНК проведен с помощью компьютерных программ PAST 4.08. Для построения филогенетических деревьев на основе данных фрагментного анализа использовали UPGMA-метод [10].

В изученных образцах было выявлено 74 амплифицированных фрагментов ДНК. Число фрагментов ДНК в общей выборке растений варьирует от 10 (17899А,

17899В) до 13 (17898В). В среднем при ISSR-анализе один праймер инициировал синтез 11 фрагментов ДНК.

Анализ полиморфизма фрагментов ДНК при использовании данных ISSR-маркеров оказался достаточно информативным методом, благодаря которому удалось различить близкородственные виды рода *Achillea* и построить дендрограмму генетического сходства исследуемого материала (Рис. 3).

Кластерный анализ (UPGMA) выявил несколько основных групп. В первую группу вошли образцы *A. sergievskiana* Schaulo et Shmakov, во вторую *A. schauloi* Stepanov, третью и четвертую составили *A. kuprijanovii* Stepanov и *A. asiatica* Serg. Хотя величина бутстреп поддержек в некоторых случаях получилась низкой, для поставленных нами целей это не имеет значения. На дереве выделяются те же клады, что и при разграничении по морфологическим исследованиям.

Интересный случай встречается в группах с видами *A. sergievskiana* (образец № 159) и *A. schauloi* (образец № 102), они находятся в одной кладе, имея высокую бутстреп поддержку (индекс бутстреп равен 85%). Возможной причиной этого является неверное изначальное определение вида, которое при генетическом исследовании дал такой артефакт.

A. kuprijanovii Stepanov и *A. asiatica* Serg. располагаются в одной кладе, данные виды являются более близкими по морфологическим признакам, что подтверждает генетический анализ. *A. kuprijanovii* отличается от *A. asiatica* широко расположенными долями первого порядка, узкими линейными конечными долями с крупными шипами [11].

Таким образом, применение новых молекулярно-генетических методов диагностики, позволяет решить такие проблемы, в которых требуется более точная идентификация видов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цвелев Н.Н. *Achillea* L. // Флора европейской части СССР. СПб.: Наука, 1994. Т. 7. С. 117–12
2. Anderberg A.A., Baldwin B.G., Bayer R.G. [et al.]. *Compositae* // The families and genera of vascular plants. Vol. VIII. Flowering plants. Eudicots. Asterales. — edited by K. Kubitzki; volume editors J.W. Kadereit and C. Jeffrey. Berlin: Springer, 2007. P. 61–588.
3. Ehrendorfer F., Guo Y.P. Changes in the circumscription of the genus *Achillea* (Compositae-Anthemideae) and its subdivision // *Willdenowia* 35(1). 2005. P. 49–54.
4. Linne C. *Species Plantarum*: in 9 v. 1753. 1 v. P. 867–872.
5. Ledebour C.F. *Flora Altaica*: T IV. Beroline. 1833. P. 334.
6. Шауло Д.Н. *Achillea* L. // Флора Сибири. Новосибирск: «Наука», Т. 13. С. 65–70.
7. Зуев В.В. *Asteraceae* // Конспект флоры Азиатской России. Сосудистые растения / под ред. К.С. Байкова. Новосибирск. 2012. С. 302–360.
8. Борский М.Н. Внутривидовая систематика и полиморфизм *Achillea millefolium* L. // Актуальные проблемы биологической и химической экологии. М. 2014. С. 9–14.

9. Rohlf F.J. NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis systems // Exeter Software, Applied Biostatistics. New York. 1992. 225 p.
10. Miller M.P. Tools for population genetic analyses (TFPGA) 1.3: A Windows program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data. Computer software distributed by author, 1997.
11. Степанов Н.В. Разнообразие тысячелистников (род *Achillea* L. — Asteraceae) в Приенисейских Саянах // Вестник КрасГАУ, 2016, 6 (117). С. 31–38.

© Кулемин Юрий Евгеньевич (kulemin_y@mail.ru), Куприянов Андрей Николаевич (kupr-42@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Кемерово

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ДИОКСИДИНА НА CAENORHABDITIS ELEGANS МЕТОДОМ ГЕЛЬ-ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

STUDY OF GENOTOXICITY OF DIOXIDIN ON CAENORHABDITIS ELEGANS BY GEL ELECTROPHORESIS

**E. Machigov
P. Dzhambetova
S. Abilev**

Summary. Objective: to study the ability of the antibacterial drug dioxidin to induce DNA breaks in *C. elegans* cells using the method of total gel electrophoresis of nematode genetic material. One of the promising ones for widespread introduction into practice of genotoxicological studies is the nematode *Caenorhabditis elegans*, which is characterized by simplicity of cultivation and is a model object in various genetic studies.

Methods: in the study, a culture of *C. elegans* Bristol N2 nematodes was used as a test system, which was grown at 21°C on a solid agarose NGM medium on a nutrient lawn, a culture of *Escherichia coli* OR50 bacteria was used. Dioxidin was used as a genotoxicant, the genotoxic properties of which have been confirmed in many studies with prokaryotes. Positive controls — betapropiolactone (0.015M) and hydrogen peroxide (0.1M), antioxidant — N-acetyl-cysteine (ACC).

Results: the study of the genotoxicity of dioxidin on *C. elegans* by gel electrophoresis of total DNA showed that dioxidin at concentrations of 0.002M — 0.0045M caused breaks in the DNA molecules of the nematode. In turn, the antioxidant N-acetyl-cysteine at concentrations of 0.01M and 0.001M reduced the level of genotoxicity of dioxidin, which reflects the concentration-dependent protective effect of the antioxidant ACC, which reduces the number of DNA breaks caused by dioxidin.

Conclusions: the study of the genotoxicity of the antibacterial agent dioxidin on the nematode *C. elegans* has shown that it is a sensitive test system, and therefore can be recommended for testing chemical environmental factors for genotoxicity.

Keywords: *Caenorhabditis elegans*, dioxidin, genotoxicity, DNA breaks, oxidative stress, test system, antioxidant acetylcysteine.

Мачигов Эльбек Альбертович

Аспирант, Институт общей генетики им.
Н.И. Вавилова РАН, Москва
elbek_machigov@mail.ru

Джамбетова Петимат Махмудовна

Докт. биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Чеченский
государственный университет им. А.А. Кадырова»,
г. Грозный
petimat-ig@rambler.ru

Абилев Серикбай Каримович

Докт. биол. наук, профессор, Институт общей
генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва
abilev@vigg.ru

Аннотация. Цель: изучение способности антибактериального препарата диоксидина индуцировать разрывы ДНК в клетках *C. elegans* с помощью метода тотального гель-электрофореза генетического материала нематоды. Одним из перспективных для широкого внедрения в практику генотоксикологических исследований является нематода *Caenorhabditis elegans*, которая отличается простотой культивирования и является модельным объектом в различных генетических исследованиях.

Методы: в исследовании в качестве тест-системы использовалась культура нематод *C. elegans* Bristol N2, которая выращивалась при 21°C на твердой агарозной NGM-среде на питательном газоне использовалась культура бактерий *Escherichia coli* OP50. В качестве генотоксиканта использовался диоксидин, генотоксические свойства которого подтверждены во многих работах с прокариотами. Положительные контроли — бетапропиолактон (0.015M) и перекись водорода (0.1M), антиоксидант — N-ацетил-цистеин (АЦЦ).

Результаты: изучение генотоксичности диоксидина на *C. elegans* методом гель-электрофореза тотальной ДНК показал, что диоксидин в концентрациях 0.002M — 0.0045M вызывал разрывы молекул ДНК нематоды. В свою очередь, антиоксидант N-ацетил-цистеин в концентрациях 0.01M и 0.001M снижал уровень генотоксичности диоксидина, что отражает зависимое от концентрации защитное действие антиоксиданта АЦЦ, уменьшающее количество разрывов ДНК, вызываемых диоксидином.

Выводы: изучение генотоксичности антибактериального агента диоксидина на нематоде *C. elegans* показало, что она является чувствительной тест-системой, в связи с чем может быть рекомендована для тестирования химических факторов окружающей среды на генотоксичность.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, диоксидин, генотоксичность, разрывы ДНК, окислительный стресс, тест-система, антиоксидант ацетилцистеин.

Введение

Генотоксичность — это способность соединений генерировать повреждения генетического материала, что зачастую приводит к мутагенезу и канцерогенезу. Основой генотоксического действия некоторых соединений, наряду прямого воздействия на ДНК, является вызываемый ими оксидативный стресс [1].

Наиболее распространенными методами генетической токсикологии являются: учет обратных генных мутаций у бактерий (тест Эймса), микроядерный тест в эритроцитах млекопитающих *in vivo*, тест на индукцию хромосомных aberrаций в клетках костного мозга млекопитающих *in vivo*, тест на индукцию доминантных летальных мутаций у грызунов. Используются и относительно новые тест-системы, такие как тест на индукцию мутаций в соматических и половых клетках трансгенных животных, тест ДНКкомет в клетках млекопитающих *in vivo*, тест на индукцию мутаций в гене тимидинкиназы в клетках млекопитающих *in vitro*. Разные тест-системы имеют свои как положительные, так и отрицательные характеристики [2].

В качестве перспективного объекта для использования в генотоксикологических исследованиях можно рассматривать нематоду *C. elegans*, представляющей собой наиболее изученный организм в природе. Свободноживущая нематода *C. elegans* размером 1 мм является типовым видом рода *Caenorhabditis*. [3,4]. Тело червя не имеет кровеносной системы и дыхательной системы, по строению билатерально симметрично, образовано несегментированным псевдоцеломом и покрыто кутикулой. Взрослые особи содержат около 1000 соматических клеток, но при этом имеют множество типов тканей, таких как мышцы, нервы и клетки кишечника. Небольшая часть *C. elegans* (приблизительно одна особь из тысячи) являются самцами, а большинство, — гермафродитами. Одна взрослая особь может иметь от 300 до 1000 потомков [5]. С 1974 года *C. elegans* активно используется в молекулярно-биологических исследованиях, в том числе и в роли модельного организма [6].

C. elegans стал первым среди многоклеточных организмов, чей геном был полностью секвенирован, а также это первый организм с полностью расшифрованным коннектомом [7, 8, 9].

Цель

Целью данной работы является изучение способности антибактериального препарата диоксида индолоксилина индуцировать разрывы ДНК в клетках *C. elegans* с помощью

метода тотального гель-электрофореза генетического материала нематоды.

Материалы и методы

Химические вещества. В качестве генотоксиканта использовался диоксидин в разных концентрациях, чьи генотоксические свойства уже подтверждены в работах с прокариотами [10]. В качестве положительных контролей были использованы бетапропиолактон (0.015M) и перекись водорода (0.1M). В качестве антиоксиданта использовался N-ацетил-цистеин (АЦЦ) в концентрациях 0.01M и 0.001M.

Биологические культуры. В качестве тест-системы использовалась культура нематод *Caenorhabditis elegans* Bristol N2, которая выращивалась при 21°C на твердой агарозной NGM-среде. В качестве питательного газона использовалась культура бактерий *Escherichia coli* OP50.

Поколения нематод синхронизировали по следующему протоколу (Solis/Petrascheck). Разросшуюся на чашке Петри популяцию нематод пипетировали стерильной водой до получения взвеси нематод и яиц. Переносили 3.5 мл взвеси в пробирку и добавляли 1.5 мл специальной смеси (0.5 мл 5M NaOH + 1 мл 5% HClO₄). Перемешивали и вортексировали 10 мин, а затем центрифугировали 30 с при 1300g и удаляли супернатант. Затем промывали осадок, растворяя в 5 мл воды, центрифугируя и удаляя супернатант. Промывку повторяли 3 раза. Затем 0.1 мл суспензии нематод переносили на чашку с NGM-агаром с газоном бактерий. Выращивание синхронизированных нематод проводили при 20°C в течение 3 суток до достижения стадии L4 («young adult»).

Подготовка нематод к электрофорезу тотальной ДНК проводилась по следующему протоколу [11]. Червей смывали с чашек стерильной водой в девять 1.5 мл пробирок, осаждали на вортексе и сливали супернатант. Добавляли дистиллированную воду в отрицательный контроль, добавляли в исследуемые образцы диоксидин в концентрациях 0.0001M, 0.0002M, 0.0005M, 0.001M, 0.002M, 0.0045M, бетапропиолактон в концентрации 0.015M и перекись водорода в концентрации 0.1M. Для опыта с антиоксидантом (4 пробирки) добавляли дистиллированную воду в отрицательный контроль, добавляли в исследуемые образцы диоксидин в концентрации 0.0045M и в них же добавляли АЦЦ в двух разных концентрациях 0.01M и 0.001M. В пробирку с положительным контролем добавляли только диоксидин.

Затем пипетировали до образования взвеси и инкубировали 120 мин при 21°C. Затем взвесь нематод

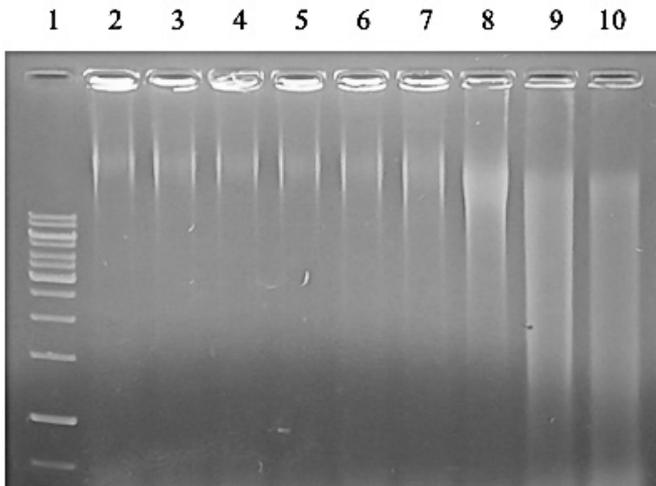


Рис. 1. Визуализация результата гель-электрофореза генетического материала нематоды *Caenorhabditis elegans*, подвергнутой воздействию диоксида водорода в разных концентрациях (диокс.) и контрольных веществ:
 1 — маркер, 2 — вода (отрицательный контроль), 3 — диокс. 0.0001M, 4 — диокс. 0.0002M, 5 — диокс. 0.0005M, 6 — диокс. 0.001M, 7 — диокс. 0.002M, 8 — диокс. 0.0045M, 9 — бетапропиолактон 0.015M (положительный контроль), 10 — перекись 0.1M (положительный контроль).

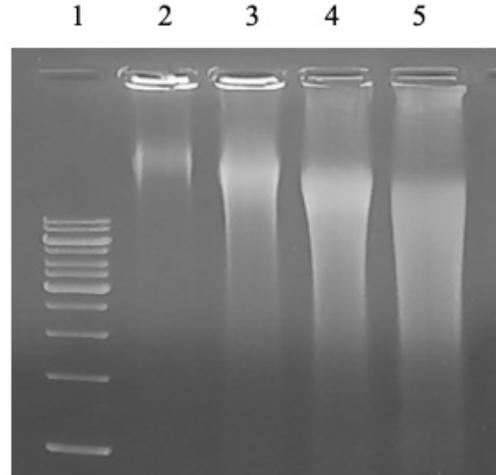


Рис. 2. Визуализация результата гель-электрофореза генетического материала нематоды *Caenorhabditis elegans*, подвергнутой воздействию диоксида водорода (диокс.) и (отрицательный контроль), 3 — диокс.0.0045M + АЦЦ 0.01M, 4 — диокс.0.0045M + АЦЦ 0.001M, 5 — диокс.0.0045M (положительный контроль).

центрифугировали 5 мин при 2300g и удаляли супернатант, добавляли 1 мл стерильной воды, и пипетировали до получения взвеси.

Для вымывания бактерий из кишечника нематод использовали метод промывания с использованием центрифугирования. Взвесь нематод сливали в центрифужные пробирки, добавляли воду до достижения 5 мл и центрифугировали 5 мин при 2300g для образования гранул. Супернатант отбрасывали и заменяли свежей стерильной водой. Пробирки, содержащие нематоды, вортексировали 3 мин; после этого червей центрифугировали при 2300g в течение 5 мин для удаления бактерий. Промывку повторяли 10 раз чтобы вымыть бактерии из кишечника нематод. При последней промывке избыток воды удаляли, оставляя 1 мл смеси вода/нематоды, а затем переносили в 1,5-мл микроцентрифужные пробирки и центрифугировали при 12000g в течение 10 мин. Супернатант сливали и подвергали гранулу заморозке при -20°C , а затем механически измельчали палочкой с абразивной поверхностью нако-
 нечника.

Выделение ДНК из клеток нематод проводили с использованием специального набора реагентов по протоколу Genomic DNA Purification Kit (Thermo Scientific) следующим образом поэтапно:

1. Не дожидаясь оттаивания, измельченной гранулы добавляли к ней 200 мкл ТЕ-буфера, 400 мкл лизирующего раствора, и инкубировали при 65°C в течение 10 мин.
2. Затем, добавляли 600 мкл хлороформа, переворачивали 5 раз, и центрифугировали 2 мин при 10 000 об/мин.
3. Верхнюю водную фазу, содержащую ДНК, переносили в новую пробирку, и добавляли 800 мкл 1% Осаждающего раствора, перемешивали несколькими переворотами в течение 2 мин, и центрифугировали 2 мин при 10 000 об/мин.
4. Удаляли супернатант, и растворяли гранулу в 100 мкл раствора хлорида натрия осторожным встряхиванием.
5. Добавляли 300 мкл холодного концентрированного этанола, осаждали ДНК при -20°C в течение 10 мин, и центрифугировали 4 мин при 10 000 об/мин.

об/мин, удаляли концентрированный этанол, обливали гранулу 70% этанолом, добавляли к ней 200 мкл стерильной деионизированной воды, и растворяли гранулу в воде аккуратным встряхиванием.

Электрофорез тотальной ДНК проводился следующим образом. По 20 мкл лизированной ДНК переносили в лунки 1% агарозной гелевой пластины (0.01% бромида этидия). Пластина помещалась в ванночку с 10% TBE буфером. Электрофорез проводили при 100 мА, 120 В, 80 Вт. Визуализация результата осуществляли с помощью УФ-лампы.

Результаты и обсуждение

Картина, полученная в результате тотального гель-электрофореза представлена на рис. 1 Анализ длин шлейфов из фрагментов ДНК, вышедшие из лунок и получившего название шмер, показал, что в концентрациях диоксида 0.0001М, 0.0002М, 0.0005М, 0.001М (лунки № 3,4,5,6) они не отличались по длине от такового в чистом контроле. В концентрации диоксида 0.002М фрагментированный генетический материал, вышедший из лунки (лунка № 7), продвинулся немного дальше от контроля, длина пути, пройденного фрагментированным генетическим материалом при концентрации диоксида 0.0045М (лунка № 8) уже более протяженная, чем при 0.002М, и его картина совершенно ясно отличается от предыдущих. Длины пути, пройденного фрагментированным генетическим материалом обоих положительных контролей (бетапропиолактон в концентрации 0.015М и перекись водорода в концентрации 0.1М), занимающих лунки № 9 и 10, сопоставимы друг с другом, и гораздо больше длин пути, пройденного фрагментированным генетическим материалом исследуемых образцов.

В опыте с антиоксидантом (рис. 2.) картина положительного и отрицательного контролей (лунки № 2 и 5) была аналогичной таковой в вышеописанном эксперименте с разными концентрациями диоксида. АЦЦ в концентрации 0.001М (лунка № 4) слабо влияла на количество разрывов ДНК, вызываемых диоксидом (лунка 5), однако АЦЦ в концентрации 0.01М (лунка № 3) значительно укорачивала длину пути, пройденного фрагментированным генетическим материалом, то есть заметно снижал уровень фрагментации ДНК.

Таким образом, из электрофореграмм видно, что диоксидин, в концентрациях 0.0001М, 0.0002М, 0.0005М, 0.001М не влиял заметно на целостность генетического материала, тогда как увеличение его концентрации сначала до 0.002М а потом до 0.0045М последовательно усиливало картину фрагментации ДНК, что прояв-

лялось в увеличении пути, пройденного фрагментированным генетическим материалом. Закономерно и ожидаемо положительные контроли (бета-пропиолактон в концентрации 0.015М и перекись водорода в концентрации 0.1М) вызывали разрывы ДНК в наибольшей степени. Надо отметить, что бета-пропиолактон является сильным алкилирующим агентом, вызывающим повреждения в ДНК [12], перекись водорода в высоких концентрациях вызывает нитевые разрывы в ДНК [13] Также показано зависимое от концентрации защитное действие антиоксиданта АЦЦ, уменьшающее количество разрывов ДНК, вызываемых диоксидом.

Ранее нами было показано, что диоксидин в бактериальной клетке *E.coli* генерирует супероксид-радикал и вызывает разрывы ДНК [14]. Это указывает на то, что генотоксичность диоксида обусловлена вызываемым им окислительным стрессом, что было ранее показано на мышах [15, 16, 17]. В этой связи можно утверждать, что *C. elegans* является удобным объектом для изучения генотоксичности химических соединений, вызывающих окислительный стресс в эукариотических клетках. При этом *C. elegans* имеет ряд преимуществ перед тест-системами на грызунах: короткий цикл размножения, за 3 дня при комнатной температуре достигает стадий L1 — L4 [18]; сходство генов *C. elegans* и геномами человека — примерно 40% генов, связанных с заболеванием человека, имеют гомологи в геноме *C. elegans* [19, 20]; области геномного анализа *C. elegans* ведутся работы, направлены на выяснение функций, регуляции, взаимодействия и экспрессии всего набора генов в геноме [21].

В ряде экспериментов показано, что ранжирование токсичности *C. elegans* столь же прогностично, как и ранжирование с помощью крыс или мышей, включая LD50. *C. elegans*, как и все эукариоты, имеет в геноме большую группу генов системы детоксикации ксенобиотиков цитохром P450, исследование особенностей функционирования которых у *C. elegans* позволяет с некоторой степенью уверенности экстраполировать на человека результаты опытов по генотоксичности на данной нематоде [22].

Нематода, в отличие от млекопитающих очень проста в культивации и доступна по ресурсам, опыты с ней гораздо менее трудоемки и затратны по времени. В отличие от прокариот и одноклеточных эукариот, нематода является многоклеточным животным, и обладает теми метаболическими системами, которых прокариоты лишены, что делает опыты с ней более экстраполируемыми на человека. Все это дает основания рассматривать *C. elegans* как организм, прекрасно подходящий на роль модельного в генотоксикологических исследованиях [23].

Заключение

Для более эффективной работы в области генетической токсикологии необходимы тест-системы, которые бы сочетали в себе, с одной стороны, простоту в применении, дешевизну ресурсов и быстроту в выпол-

нении. Впервые проведено изучение генотоксичности антибактериального агента диоксидина на нематоде *C. elegans* и показано, что она является чувствительной тест-системой, в связи с чем может быть рекомендована для тестирования химических факторов окружающей среды на генотоксичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абилов С.К., Глазер В.М. Генетическая токсикология: итоги и проблемы. //Генетика. 2013. № 49(1). С. 81–93.
2. Дурнев А.Д., Жанатаев А.К. Актуальные аспекты генетической токсикологии лекарственных средств. Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. //Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2022. № 12(1). С. 90–109.
3. Wood WB. The Nematode *Caenorhabditis elegans*. //Cold Spring Harbor Laboratory Press. 1988. p. 1.
4. Sudhaus W, Kiontke K. Phylogeny of Rhabditis subgenus *Caenorhabditis* (Rhabditidae, Nematoda). //Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2009. № 34(4). P.217–233.
5. Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. Molecular Biology of the Cell (5th ed.). //Garland Science. 2007. p. 1321. ISBN978–0–8153–4105–5.
6. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans*. //Genetics. 1974. № 77 (1). P.71–94.
7. White JG, Southgate E, Thomson JN, Brenner S. The structure of the nervous system of the nematode *Caenorhabditis elegans*. //Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 1986. № 314 (1165). P. 1–340. DOI:10.1098/rstb.1986.0056.
8. White JG. Getting into the mind of a worm — a personal view. //WormBook. 2013. P. 1–10.
9. Jabr F. The Connectome Debate: Is Mapping the Mind of a Worm Worth It? //Scientific American. Retrieved. 2014. P. 1–18.
10. Фонштейн Л.М., Абилов С.К., Облапенко Н.Г. О характере мутагенного действия диоксидина на бактерии. //Цитология и генетика (Киев). 1980. № 14(1). С. 60–64.
11. Imanikia S, Galea F, Nagy E, Phillips DH, Stürzenbaum SR, Arlt VM. The application of the comet assay to assess the genotoxicity of environmental pollutants in the nematode *Caenorhabditis elegans*. //Environ Toxicol Pharmacol. 2016. № 45. P.356–61. DOI: 10.1016/j.etap.2016.06.020.
12. Brusick DJ. The genetic properties of beta-propiolactone. //Mutat Res. 1977. № 39(3–4). P.241–55.
13. Qi L, Wu XC, Zheng DQ. Hydrogen peroxide, a potent inducer of global genomic instability. //Curr Genet. 2019. № 65(4). P.913–917. D
14. Свиридова Д.А., Мачигов Э.А., Игонина Е.В., Жошибекова Б.С., Абилов С.К. Изучение механизма генотоксичности диоксидина с помощью lux-биосенсоров *Escherichia coli* //Радиационная биология. Радиозекология. 2020, Т. 60. № 6. С. 595–603.
15. Дурнев А.Д. Середенин С.Б. Мутагены: (Скрининг и фармакол. профилактика воздействий). //М.: Медицина. 1998. 326 с. ISBN5–225–04429–8.
16. Дурнев А.Д., Дубовская О.Ю., Нигарова Э.А. и др. Роль свободных радикалов кислорода в механизме мутагенного действия диоксидина // Хим.-фарм. журн. 1989. Т. 23. № 11. С. 1289–1291.
17. Середенин С.Б., Сазонтова Т.Г., Дурнев А.Д., Гусева Н.В. Влияние диоксидина и циклофосфана на перекисное окисление липидов и активность супероксиддисмутазы и каталазы у мышей линий C57Bl/6 и BALB/c. // Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1996. Т. 121. № 5. С. 528–
18. Gami MS, Wolkow CA. Studies of *Caenorhabditis elegans* DAF-2/insulin signaling reveal targets for pharmacological manipulation of lifespan. //Aging Cell. 2006. № 5. P.31–7.
19. The *C. elegans* Sequencing Consortium. Genome sequence of the nematode *C. elegans*: A platform for investigating biology. //Science. 1998. № 282. P.2012–2018.
20. Culetto E, Sattelle DB. A role for *Caenorhabditis elegans* in understanding the function and interactions of human disease genes. //Hum Mol Genet. 2000. № 9. P.869–77.
21. Muller HM, Kenny EE, Sternberg PW. Textpresso: an ontology-based information retrieval and extraction system for biological literature. //PLoS Biol. 2004. № 2: e309.
22. Hunt P.R. The *C. elegans* model in toxicity testing. //J. Appl. Toxicol. 2017. № 37. P.50–59.
23. Larigot L, Mansuy D, Borowski I, Coumoul X, Dairou J. Cytochromes P450 of *Caenorhabditis elegans*: Implication in Biological Functions and Metabolism of Xenobiotics Biomolecules. 2022. № 12. P. 342.

© Мачигов Эльбек Альбертович (elbek_machigov@mail.ru),

Джамбетова Петимат Махмудовна (petimat-ig@rambler.ru), Абилов Серикбай Каримович (abilev@vigg.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СОХРАНЕНИЕ ОЗЕРА АМУТ ПУТЕМ ОХРАНЫ ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕМУ ЭКОСИСТЕМ

CONSERVATION OF LAKE AMUT BY PROTECTING THE SURROUNDING ECOSYSTEMS

E. Mlynar

Summary. Preservation of unique ecosystems has become of particular importance in the light of increasing anthropogenic impact. The landslide lake Amut in the Khabarovsk Territory is a unique object, the need for protection of which has grown significantly in recent years. A comprehensive survey of the territory was carried out, during which the species composition of flora and fauna was assessed, which showed the presence of at least 185 plant species and at least 200 animal species on the territory. The high biological significance of Lake Amut and adjacent ecosystems, as well as the presence of rare species listed in the Red Book on the territory, showed the expediency of expanding the boundaries of protected areas.

Keywords: ecosystems, lake, flora, fauna, protected areas, protection, abundance.

Млынар Евгений Викторович

Кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет», Хабаровск
mlynar@bk.ru

Аннотация. Сохранение уникальных экосистем приобрело особую значимость в свете увеличивающегося антропогенного воздействия. Оползневое озеро Амур в Хабаровском крае является уникальным объектом, необходимость охраны которого в последние годы значительно выросла. Было проведено комплексное обследование территории, в ходе которого был оценен видовой состав флоры и фауны, показавший присутствие на территории не менее 185 видов растений и не менее 200 видов животных. Высокая биологическая значимость озера Амур и прилегающих экосистем, а также наличие на территории редких видов, занесенных в Красную книгу, показало целесообразность расширения границ ООПТ.

Ключевые слова: экосистемы, озеро, флора, фауна, ООПТ, охрана, численность.

В Солнечном районе Хабаровского края, примерно в 60 км от города Комсомольска-на-Амуре расположено высокогорное обвальное озеро Амур. Оно находится в центре хребта Мяо-Чан на высоте 761 м над уровнем моря и со всех сторон окружено невысокими горами. Озеро достаточно холодное, большую часть времени температура воды варьирует в пределах 3–6 °С. Дальневосточники называют Амур «миниатюрным Байкалом» из-за вытянутой формы и холодной, а также очень чистой воды (в период свободный от дождей). Озеро Амур образовалось относительно недавно в результате мощного обвала, значительно изменившего русло небольшой одноименной реки Амур.

Исходя из своего месторасположения в центре древнего хребта Мяо-Чан, на прилегающих к озеру территориях сохранились исторические комплексы живой природы, а многие объекты растительного и животного мира в комплексе представляют немаловажную ценность и значение в целостной картине природных богатств Хабаровского края, отличающегося необычайно высоким уровнем биологического разнообразия. В 1997 году Постановлением Главы администрации Хабаровского края от 20.01.1997 № 7 «Об особо охраняемых природных территориях Хабаровского края» было

принято решение о создании памятника природы краевого значения «Оползневое озеро Амур» [1]. Согласно указанному постановлению, возникший памятник природы был расположен на землях государственных лесного и водного фондов, занимает площадь 12 гектаров, в том числе 3 гектара — площадь водной акватории, и располагается на землях лесного фонда Солнечного участкового лесничества Солнечного лесничества [2]. В последнее время из-за различных антропогенных воздействий (рубки, пожары, захламления и др.) как никогда важной стала проблема сохранения уникальных природных участков на территории Хабаровского края, в том числе это относится и к озеру Амур. Цель проведенного исследования заключалась в комплексном экологическом обследовании памятника природы краевого значения «Оползневое озеро Амур» для возможной коррекции его границ и установления границ его охранной зоны.

Материал и методика

Сбор материала осуществлялся путем обработки и анализа архивных и литературных источников и проведения полевого обследования в летне-осенний период 2020 года. Описание прилегающей растительно-



Рис. 1. Общий вид озера Амур, сентябрь 2020 г.

сти вели по ярусам: древесный, подлесок, состоящий из кустарников, травяной покров. Также использовались опубликованные данные [3–5]. Методика полевых работ по изучению растений и животных включала фотофиксацию объектов исследований и стаций их обитания. Отмечались все визуальные встречи птиц. Возможное нахождение объектов животного мира на территории ООПТ устанавливалось также по опубликованным и опросным данным, а также материалам за прошлые годы [6–7].

Результаты комплексного обследования

При обследовании было отмечено, что в последнее время (особенно в период распространения Covid-19) данная территория стала активно осваиваться. Вблизи была построена туристическая база и лыжная трасса и в связи с возросшим туристическим потоком наблюдается опосредованное воздействие на террито-

рию. В частности, по опросным источникам, в 2020 году неоднократно отмечалось неоднократное захламливание бытовыми отходами и мусором берегов озера, при этом совокупное захламливание территории достигало до 5% и более. Также наблюдалось проведение санитарных рубок в непосредственной близости от существующей ООПТ. В ходе исследований оказалось, что места, предназначенные для проведения санитарных рубок, после проведенных на них мероприятий, находятся в крайне запущенном состоянии. По минимальной оценке (по результатам исследований), под вырубку попало свыше 50 га леса и площадь (га) преобразованных (антропогенно измененных) и нарушенных территорий (с учетом проведенных вырубок) составляет в настоящее время до 100 га. Некоторые биотопы, находящиеся на территориях, попавших под вырубку, были частично разрушены. В свете возрастающего антропогенного воздействия можно констатировать, что в настоящее время озеро Амур стало испытывать определенный пресс от деятельности человека и было

принято решение подробно обследовать прилегающие к ООПТ территории.

Деревья формируют основу лесного флористического комплекса. Прилегающие к озеру Амут территории заполнены различными видами деревьев. Некоторые из них, например, ель и пихта, в силу биологических особенностей, могут составлять значительную часть растительного покрова. Основными деревьями данной лесной территории являются пихта почкочешуйная *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim., ель аянская *Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr. и сосна низкая (кедровый стланик) *Pinus pumila* (Pall.) Regel. Первые очень часто встречаются по склону долины и в высокогорной части, стланик же тяготеет к верхнему склону леса, в значительном количестве присутствует на водоразделе. Следует отметить, что практически вся высокогорная часть хребта Мяо-Чан обладала в свое время первозданными лесами. Однако в настоящий момент эти уникальные темнохвойные леса остались только в высокогорной части. Аянские же ельники, которые уцелели до наших дней, являются реликтовыми. Кроме указанных деревьев можно часто встречались ольха волосистая *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr., можжевельник сибирский *Juniperus sibirica* Burgsd., береза шерстистая *Betula lanata* (Regel) V. Vassil., тополь душистый *Populus suaveolens* Fisch., различные виды ив (*Salix*) и др. На территории хребта Мяо-Чан кустарники и травы представлены относительно широко. Эколого-фитоценологические группы представлены гигрофильной растительностью, произрастающей в районе водного объекта. К видам, доминирующим в нижних ярусах фитоценозов можно отнести вейник амурский *Calamagrostis amurensis*, дерен канадский *Chamaepericlymenum canadense*, майник двулистный *Maianthemum bifolium*, кислицу обыкновенную *Oxalis acetosella*, бруснику обыкновенную *Rhodococcum vitisidaea*, рододендрон золотистый *Rhododendron aureum*, рябинник крупноцветковый *Sorbaria sorbifolia*, седмичник европейский *Trientalis europaea* и др. Полный список сосудистых растений памятника природы «Оползневое озеро Амут» включает не менее 185 видов из 125 родов и 56 семейств. Как выяснилось в ходе обследования, хребет Мяо-Чан является естественной средой обитания различных животных (суммарно свыше 200 видов). Фауна хребта является ярким отражением фауны всего Нижнего Приамурья. Разные экологические условия леса позволяют находить станции для жизни как беспозвоночным, так и позвоночным представителям животного мира.

Особенности энтомофауны хребта Мяо-Чан хорошо проявляются на примере фауны жуков и бабочек. Эти отряды отличаются большей изученностью, особенно такие семейства как жужелицы (*Carabidae*) и усачи

(*Cerambycidae*) среди жуков, и представляющие булавоусых чешуекрылых семейства нимфалид (*Nymphalidae*), бархатниц (*Satyridae*), голубянок (*Lycaenidae*), белянок (*Pieridae*) и толстоголовок (*Hesperidae*). В фауне насекомых по разнообразию заметно преобладание циркумглоарктических или транспалеарктических видов, широко распространенных в умеренных лесах. Эту группу насекомых представляют в частности такие бабочки как толстоголовки палемон (*Capterocephalus palaemon*), мальвовая (*Pyrgus malvae*), пятнистая (*Pyrgus maculates*) и желтая лесная (*Capterocephalus silvicola*), боярышница (*Aporia crataegi*), желтушка торфяная (*Colias palaeno*), зорька (*Anthocharis cardamines*), бархатница глазчатая (*Aphanthopus hyperantus*), краеглазка петербургская (*Lasiommata petropolitana*), сеница луговая (*Coenonympha oedippus*), чернушка обыкновенная (*Erebia ligea*), пеструшки обыкновенная (*Neptis rivularis*) и травяная (*Neptis Sappho*), перламутровки большая лесная (*Argynnis paphia*) и аглая (*Speyeria aglaja*), голубянка аргус (*Plebejus argus*) и голубянка болотная (*Vacciniina optilete*). К ним близки бореальные виды, распространенные главным образом на просторах Сибири: перламутровки ангарская (*Clossiana angarensis*) и сибирская (*Clossiana selenis*), восточная горошковая белянка (*Leptidea morsei*), сеница сибирская (*Coenonympha amaryllis*), чернушки маревая (*Erebia edda*) и циклоп (*Erebia cyclopia*), хвостатка спирейная (*Nordmannia prunoides*). Сходное с этими бабочками распространение имеют многие жужелицы — брызгуны Маклея (*Carabus macleayi*), Витингофа (*Carabus vietinghoffi*), Гуммеля (*Carabus hummeli*) и бугорчатый (*Carabus tuberculatus*), цецилусы блестящий (*Poecilus nitidicollis*) и лесной (*Poecilus fortipes*). А также некоторые жуки-усачи — клит алтайский (*Xylotrechus altaicus*), хлорофорус изящный (*Chlorophorus gracilipes*), усач лиственничный (*Monochamus impluviatus*). В большинстве своем эти виды имеют высокую и среднюю численность. Особую ценность среди широко распространенных видов имеют те, чья численность всюду в пределах их ареалов невелика, в результате потенциальной уязвимости они попадают даже в категорию особо охраняемых животных — махаон (*Papilio machaon*), сеница геро (*Coenonympha hero*), переливница большая (*Apatura iris*), ленточница Камилла (*Limenites Camilla*), красотел-преследователь (*Calosoma investigator*), мускусный усач (*Aromia moschata*). Хотя хребта Мяо-Чан находится фактически на северном рубеже распространения восточноазиатской (маньчжурской) фауны, в его лесах довольно разнообразны эндемики Восточной Азии, чьи ареалы большей частью лежат в пределах юга Дальнего Востока России. Среди бабочек это — толстоголовки горная (*Erynnis montanus*), Попова (*Erynnis popoviana*) и амурская (*Ochlodes venatus*), барбарисовая белянка (*Aporia hippie*), желтушка аврора (*Colias hoes*), бархат-

ницы китайская (*Ypthima argus*), мраморная (*Kirinia epimenides*) и Шренка (*Ninguta schrenckii*), большинство пеструшек, ленточниц и зефилов, хвостатки фиолетовая (*Atara arata*) и Герца (*Fixsenia herzi*). Украшением лепидоптерофауны являются безусловно хвостоносец Маака (*Achillides maackii*), ксут (*Sinoprinceps xuthus*) и парусник Бремера (*Parnassius bremeri*). Столь же богата эндемиками фауна жуков, яркими их представителями являются брызгун Шренка (*Carabus schrencki*), фиолетовый красотел (*Calosoma cyanescens*), бронзовки удивительная (*Cetonia magnifica*) и широколапая (*Netocia brevitarsis*), восковик-отшельник (*Osmoderma barnabita*), коровка удивительная (*Alolocaria hexaspilota*). Также, следует отметить, что в последнее время исследованы в пределах хребта Мяо-Чан оказались и жужелицы. Так, в настоящее время выявлено 52 вида жужелиц из 19 родов, 14 триб и 7 подсемейств, что составляет около четверти видового состава, известного для Нижнего Приамурья [6]. Некоторые из эндемичных для Приамурья насекомых включены в Красные книги, впрочем, особого природоохранного статуса заслуживают не столько отдельные представители маньчжурской фауны, сколько места их обитания в целом, то есть суббореальные, хвойно-широколиственные, леса. Именно в долинных хвойно-широколиственных лесах, а также в дубняках и кедровниках сосредоточено наибольшее количество эндемичных видов.

Фауна земноводных и пресмыкающихся бедна, как и во всем Приамурье, однако вблизи озера Амур проходит северная граница распространения некоторых видов — дальневосточной квакши (*Hyla japonica*), монгольской жабы (*Bufo raddei*). Наиболее многочисленными и распространенными на территории из амфибий являются сибирский углозуб (*Salamandrella keyserligii*) и сибирская лягушка (*Rana amurensis*). В неморальных лесах нередко встречается серая жаба (*Bufo gargarizans*), в пойме — чернопятнистая лягушка (*Rana nigromaculata*) и дальневосточная лягушка (*Rana dybovskii*). Из пресмыкающихся к числу обычных видов принадлежат живородящая ящерица (*Lacerta vivipara*), узорчатый полоз (*Elaphe dion*), восточный (*Agkistrodon blöffii*) и каменистый (*Agkistrodon intermedius*) щитомордники. Первые два вида — явные эврибионты, щитомордники тяготеют к скалистым берегам и сухим склонам, покрытым дубняками. Амурский полоз (*Elaphe schrencki*) отмечен только за пределами существующей ООПТ, но относительно недалеко. Гадюка (*Vipera berus*) встречается повсеместно, но всюду относительно редко.

Орнитофауна ООПТ имеет сложную структуру. В ней преобладают транспалеарктические виды, но доля восточноазиатских видов также велика. Численно доминируют бореальные виды, населяющие умеренные леса почти всей Евразии. Это — рябчик (*Teyrastes bonasia*),

обыкновенная (*Cuculus canorus*) и глухая (*Cuculus saturatus*) кукушки, малый пестрый (*Dendrocopos minor*) и трехпалый (*Picoides tridactylus*) дятлы, пятнистый конек конек (*Anthus hodgsoni*), корольковая (*Phylloscopus proregulus*) и толстоклювая (*Phylloscopus schwarzi*) пеночки, поползень (*Sitta europaea*), буроголовая гаичка (*Parus montanus*), длиннохвостая синица (*Aegithalos caudatus*), седоголовая овсянка (*Emberiza spodocephala*), сойка (*Garrulus glandarius*). Здесь обычны типичные сибирские таежные птицы — большая горлица (*Streptopelia orientalis*), соловей-красношейка (*Luscinia calliope*), синий соловей (*Luscinia cyane*), сибирский жулан (*Lanius cristatus*). Во время сезонных миграций появляются обитатели северной тайги и лесотундры: бурый дрозд (*Turdus eunomus*), пеночка-таловка (*Phylloscopus borealis*), вьюрок (*Fringilla montifringilla*), овсянка-ремез (*Emberiza rustica*), чиж (*Spinus spinus*), подорожник (*Calcarius lapponicus*), полярная овсянка (*Emberiza pallasii*), пуночка (*Plectrophenax nivalis*). В зимнее время появляются также выходцы из более северных широт: кречет (*Falco rusticolus*), свиристель (*Bombicilla garrulous*), снегирь обыкновенный (*Pyrrhula pyrrhula*), щур (*Pinicola enucleator*). Вместе с тем, обычными представителями орнитофауны являются такие эндемики Восточной Азии как индийская кукушка (*Cuculus micropterus*), иглоногая сова (*Ninox scutulata*), уссурийская совка (*Otus sunia*), большой козодой (*Caprimulgus indicus*), малый (*Sturnia sturnia*) и серый (*Sturnus cineraceus*) скворцы, голубая сорока голубая сорока (*Cyanopica cuanus*). Некоторые из них — личинкочед (*Pericrocotus divaricatus*), желтоспинная мухоловка (*Ficedula zanthopygia*), буробоклая белоглазка (*Zosterops erythropleura*) даже многочисленны. Относительно широко представлена фауна околводных и водоплавающих птиц. Помимо таких распространенных видов, как — серой цапли (*Ardea cinerea*), кряквы (*Anas platyrhynchos*), чирка-свистунка (*Anas crecca*), касатки, лесного дупеля (*Gallinago megala*), перевозчика (*Actitis hypoleucos*) встречаются редкие, в том числе эндемичные для Приамурья птицы: скопа (*Pandion haliaetus*), орланы белоплечий (*Haliaeetus pelagicus*) и белохвост (*Haliaeetus albicilla*), рыбный филин (*Ketupa blakistoni*), амурская выпь (*Ixobrychus eurhythmus*), зеленая кваква (*Butorides striatus*), белый (*Ciconia boyciana*) и черный (*Ciconia nigra*) аисты, мандаринка (*Aix galericulata*), чешуйчатый крохаль (*Mergus squamatus*), нырок Бэра (*Aythya baeri*), большой погоныш (*Porzana paykullii*), азиатский бекас (*Gallinago stenura*). В период сезонных миграций численность и разнообразие водоплавающих и околводных птиц возрастает. Иногда можно встретить гусей и лебедей, большие скопления образуют утки: луток (*Mergus albellus*), гоголь (*Bucephala clangula*), шилохвость (*Anas acuta*), хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*), морская чернеть (*Aythya marila*), гор-

боносый турпан (*Melanitta deglandi*). К водной местности тяготеет каменный глухарь (*Tetrao parvirostris*). В ельниках изредка отмечается дикуша (*Falci pennis falcipennis*).

Териофауна обследованного района имеет типичный для Нижнего Приамурья облик. В целом она небогата. Здесь редки типичные обитатели суббореальных лесов Дальнего Востока такие как кабан (*Sus scrofa*), изюбрь (*Cervus elaphus*), гималайский медведь (*Ursus thibetanus*), барсук (*Meles meles*). Численно доминируют широко распространенные лесные виды. Хищниками, встречающимися в последнее время не часто, являются бурый медведь (*Ursus arctos*), обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes*), соболь (*Martes zibellina*), колонок (*Mustela sibirica*), ласка (*Mustela nivalis*). Изредка встречаются рысь (*Felis lynx*), выдра (*Lutra lutra*), американская норка (*Mustela vison*). Крайне редко регистрируется росомаха (*Gulo gulo*). Из крупных травоядных отмечался лось (*Alces alces*), реже встречались косуля (*Capreolus capreolus*) и кабарга (*Moschus moschiferus*). Мелкие травоядные представлены белкой (*Sciurus vulgaris*), азиатским бурундуком (*Tamias sibiricus*), летягой (*Pteromys volans*), красной (*Clethrionomys rutilus*) и красно-серой (*Clethrionomys rufocanus*) полевками. В нижнем ярусе доминирует лесная азиатская мышь (*Apodemus peninsulae*). Повсеместно многочислен заяц-беляк (*Lepus timidus*). В пойменных участках Амута изредка встречается ондатра (*Ondatra zibethica*) и серая крыса (*Rattus norvegicus*). Следует отметить, что в районе проведения исследований проходит северная граница ареала обыкновенного ежа (*Erinaceus europaeus*).

Всего на территории памятника природы «Оползневое озеро Амут» по данным проведенных комплексных исследований произрастает не менее 4 видов растений, внесенных в Красную Книгу Хабаровского края. Что касается животного мира, то среди насекомых имеются 2 краснокнижных вида, а среди представителей орнитофауны к редким видам, занесенным в Красную книгу, относятся 11 видов.

Поскольку оползневое озеро Амут является неотъемлемой частью природного комплекса Мяо-Чан и имеет единый с ним состав животного и растительного мира, то есть по существу представляет единую функциональную экосистему. Любые изменения, про-

исходящие на отдельных участках природного комплекса, прямо или опосредованно влияют на структуру озера. Например, проведенные «санитарные» рубки частично нарушили существующие в природе экологические связи разных уровней, поскольку, несмотря на относительную удаленность непосредственно от озера, поспособствовали уменьшению водного баланса в прилегающих водотоках. На хребтах и склонах, примыкающих к озеру Амут, сохранились уникальные участки леса, с преобладанием аянской ели, имеющие во многом первозданную реликтовую структуру. А комплекс Мяо-Чан, в пределах которого расположена ООПТ, представляет собой единый биотоп для многих представителей животного мира, поскольку некоторые виды в процессе своего жизненного цикла способны осуществлять значительные территориальные миграции и осваивать новые места обитания.

Заключение

Результаты исследований свидетельствовали о необходимости принятия действенных мер по сохранению природного комплекса, прекращению нерациональной хозяйственной деятельности, негативно влияющей на природные ресурсы. Для этих целей мы предложили расширить границы существующей ООПТ и ее охранной зоны, включив в нее прилегающие к озеру водотоки, являющиеся основными водными артериями природного комплекса Мяо-Чан. Расширение существующих границ памятника природы краевого значения «Оползневое озеро Амут» до 2000 га позволило бы сберечь исторически сформированный природный комплекс, сохраняющий до настоящего времени многие уникальные объекты и сообщества живой природы.

В уникальной экосистеме природного комплекса горного хребта Мяо-Чан, в состав которого входит оползневое озеро Амут, сконцентрирован значительный по видовому обилию состав представителей животного и растительного мира. В свете проведенной работы для правительства Хабаровского края был подготовлен комплексный научно-исследовательский отчет и предложены схемы корректировки границ ООПТ. В 2021 году Постановлением правительства было принято решение о корректировке границ ООПТ [8]. В настоящее время площадь ООПТ и ее охранной зоны составляет свыше 2500 га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Главы администрации Хабаровского края от 20.01.1997 № 7 «Об особо охраняемых природных территориях Хабаровского края».
2. Постановление Правительства Хабаровского края от 11.07.2012 № 233-ПР «О памятниках природы краевого значения «Тигровый дом», «Анюй», «Оползневое озеро Амут».

3. Ван Г.В., Ван В.М. Сосудистые растения «Ландшафтного памятника природы Оползневое озеро Амур» и их охрана // Turczaninowia. — 2011. — Вып. 14, № 4. — С. 47–58.
4. Ван В.М., Ван Г.В., Заугольная И.Н. Флористические находки на хребте Мяо-Чан (Хабаровский край) // Ботанический журнал. — 2006. — Т. 91. — № 12. — С. 1923–1927.
5. Флора российского Дальнего Востока: дополнения к изданию «Сосудистые растения советского Дальнего Востока». Т. 1–8 (1985–1996) / Отв. ред. А.Е. Кожевников [и др.]. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — 456 с.
6. Куберская О.В., Мутич В.А. Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) хребта Мяо-Чан, Хабаровский край // Чтения памяти А.И. Куренцова. Вып. 27. — Владивосток: Дальнаука, 2016. — С. 93–106.
7. Хованский И.Е., Млынар Е.В. Практические вопросы создания и экологического мониторинга ООПТ. — Хабаровск: Издательство МРОО «Рост Регионов», 2021. — 300 с.
8. Постановление правительства Хабаровского края от 29.12.2021 № 693-пр «О памятнике природы краевого значения «Оползневое озеро Амур»».

© Млынар Евгений Викторович (mlynar@bk.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Хабаровск

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЁНЫХ ЗОН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ТЮМЕНИ

ASSESSMENT OF THE STATE OF GREEN AREAS IN THE CENTRAL PART OF THE CITY OF TYUMEN

**O. Sumenkova
S. Guzeeva
R. Streltsov**

Summary. The population of developed countries is moving towards a more urbanized society. A comfortable urban environment is an important factor for the formation of a high standard of living. The study analyzed the dependence of the state of green zones on the level of impact of transport infrastructure in the central part of the city of Tyumen. Studies have shown that with a weak degree of greening of the urban area, plants cannot cope with the exerted load and green areas become unable to protect the city's population from harmful environmental factors. The level of technogenic load manifests itself in the form of desiccation, pollution and necrosis. A direct relationship between the number of motor vehicles and the general condition of green spaces has been revealed.

Keywords: residential area, technogenic impact, transport infrastructure, phenological methods of phytoindication, green spaces.

Суменкова Ольга Андреевна

Аспирант, Тюменский индустриальный
университет
sumenkova_1998@mail.ru

Гузеева Светлана Анатольевна

Кандидат биологических наук, доцент, Тюменский
индустриальный университет
nesterka07@mail.ru

Стрельцов Роман Михайлович

Аспирант, ГАУ Северного Зауралья
berserk-1991@yandex.ru

Аннотация. Население развитых стран переходит всё к более урбанизированному обществу. Комфортная городская среда является важным фактором для формирования высоко уровня жизни. В рамках исследования был проведен анализ зависимости состояния зелёных зон от уровня воздействия транспортной инфраструктуры в центральной части города Тюмени. Исследования показали, что при слабой степени озеленения городской территории растения не справляются с оказываемой нагрузкой и зелёные зоны становятся не способными защищать население города от вредных факторов среды. Уровень техногенной нагрузки проявляется в виде усыханий, загрязнений и некрозов. Выявлена прямая зависимость между количеством автомобильного транспорта и общим состоянием зелёных насаждений.

Ключевые слова: селитебная территория, техногенное воздействие, транспортная инфраструктура, фенологические методы фитоиндикации, зелёные насаждения.

Введение

Современные реалии показали, что мировое население развитых стран переходит всё к более урбанизированному обществу. Подтверждением тому служат как с экономические, так и социальные показатели. Так, по данным ООН, начиная с 2007 года большая часть населения мира живет в городских пространствах, а, по дальнейшим прогнозам, к 2030 году доля проживающих в городах вырастет до 60% от общей доли населения Земли.

Необходимо отметить, что именно на городских жителей приходится больше всего токсичных выбросов в атмосферу (около 70% от общего показателя). Кроме того, потребность в ресурсах в городах имеет устойчивую тенденцию к росту. На сегодняшний день она составляет порядка 60% от общей потребности в ресурсах всего человечества.

Таким образом, ускоренная урбанизация городского населения без социальной, экономической и экологической подготовки приводит к перегруженности инфраструктуры, нехватке социальных объектов на душу населения (школ, детсадов, больниц), нарушению системы сбора отходов, системы водоснабжения и канализации, перегруженности дорог и транспорта. Помимо этого, приводит к росту числа жителей трущоб, и ухудшению экологической ситуации регионов. [1]

В настоящий момент, в рамках целей устойчивого развития, были выделен такой показатель, как обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населённых пунктов, к которому должно стремиться современное общество. Данный показатель является одиннадцатой целью устойчивого развития в рамках концепции ООН. При этом, особое внимание уделяется показателям экологической безопасности. [2]

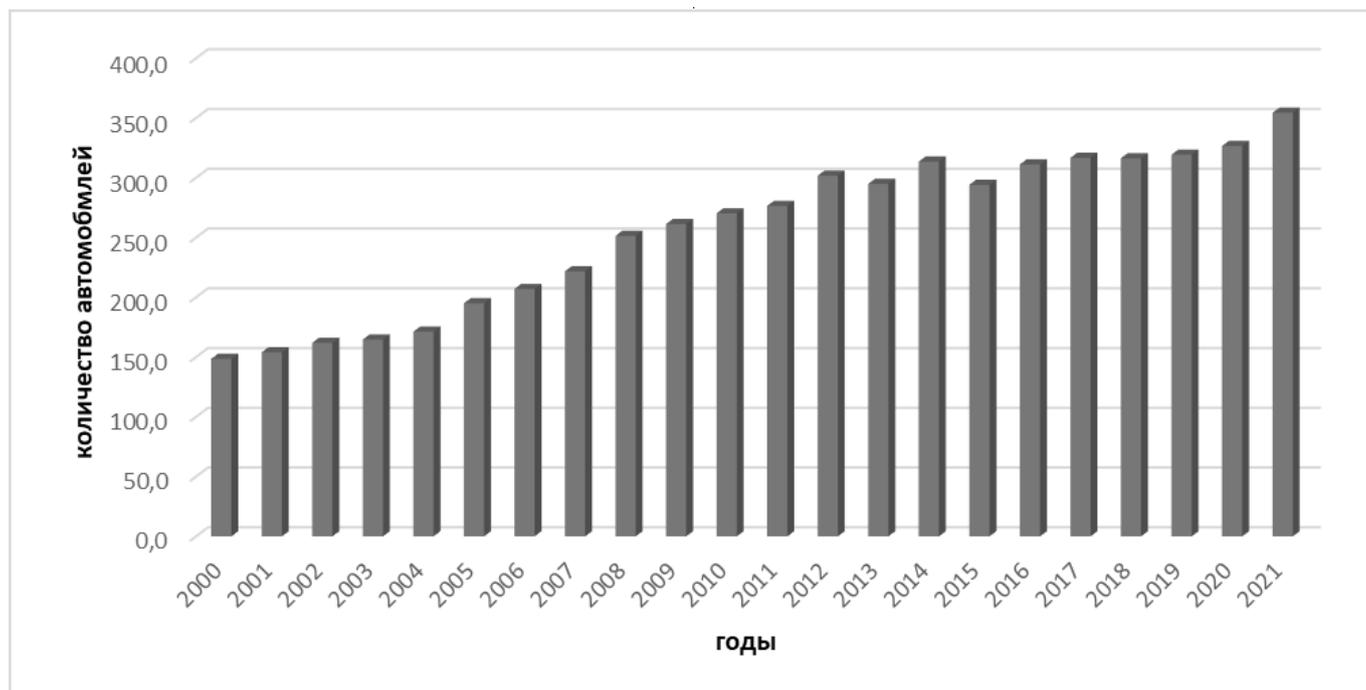


Рис. 1. Показатель количества автомобилей на 1000 человек

Существует множество факторов негативного воздействия на окружающую среду в условиях города. Основными из них являются: автомобильный транспорт, котельные и промышленные предприятия, расположенные в черте города. Их негативное воздействие наносит ущерб основным компонентам природной среды. Воздушная среда, почва, древесные, хвойные, травянистые растения, водные ресурсы подвергаются самому интенсивному воздействию. [3]

Со временем некоторые компоненты природной среды в условиях города способны самовосстанавливаться, но лишь до того момента, пока соблюдается баланс между техногенным воздействием и способностью каждого компонента к самовосстановлению. Чаще всего наблюдается тенденция увеличения техногенного воздействия из-за урбанизации. Некоторые компоненты природной среды становятся не способными к быстрой перестройке своих защитных функций, что приводит к накопительному эффекту негативного воздействия и дальнейшей их деградации.

Вышеописанная проблема чаще всего встречается в вопросе озеленения городов и новых застраиваемых городских территорий. Для того, чтобы решить данную проблему, необходима планомерная комплексная оценка состояния зеленых растений и факторов техногенного воздействия на них, увеличение площади зелёных зон городов с устойчивыми к негативному воздействию растениями при возрастании нагрузок и осу-

ществление комплексного ухода за растениями и почвенным покровом в городе. [4,5]

Цель исследования

Анализ зависимости состояния зелёных зон от уровня воздействия транспортной инфраструктуры в центральной части города Тюмени.

Материалы и методы исследования

При написании статьи использовались: аналитический (данные Росстата, данные научных статей и публикаций по теме), исследовательский, математический и сравнительный методы.

Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа данных о возможном влиянии техногенного воздействия на компоненты природной среды для города, с последующей интерпретацией данных было проведено исследование в городе Тюмени. В последние десятилетия в городе наблюдается тенденция роста городского населения из-за притока жителей с северных регионов и ближайших деревень, помимо этого, наблюдается рост автомобилизованности среди населения. Так, согласно данным Федеральной службы государственной статистики, показатель количества собственных легковых автомобилей на 1000 человек го-

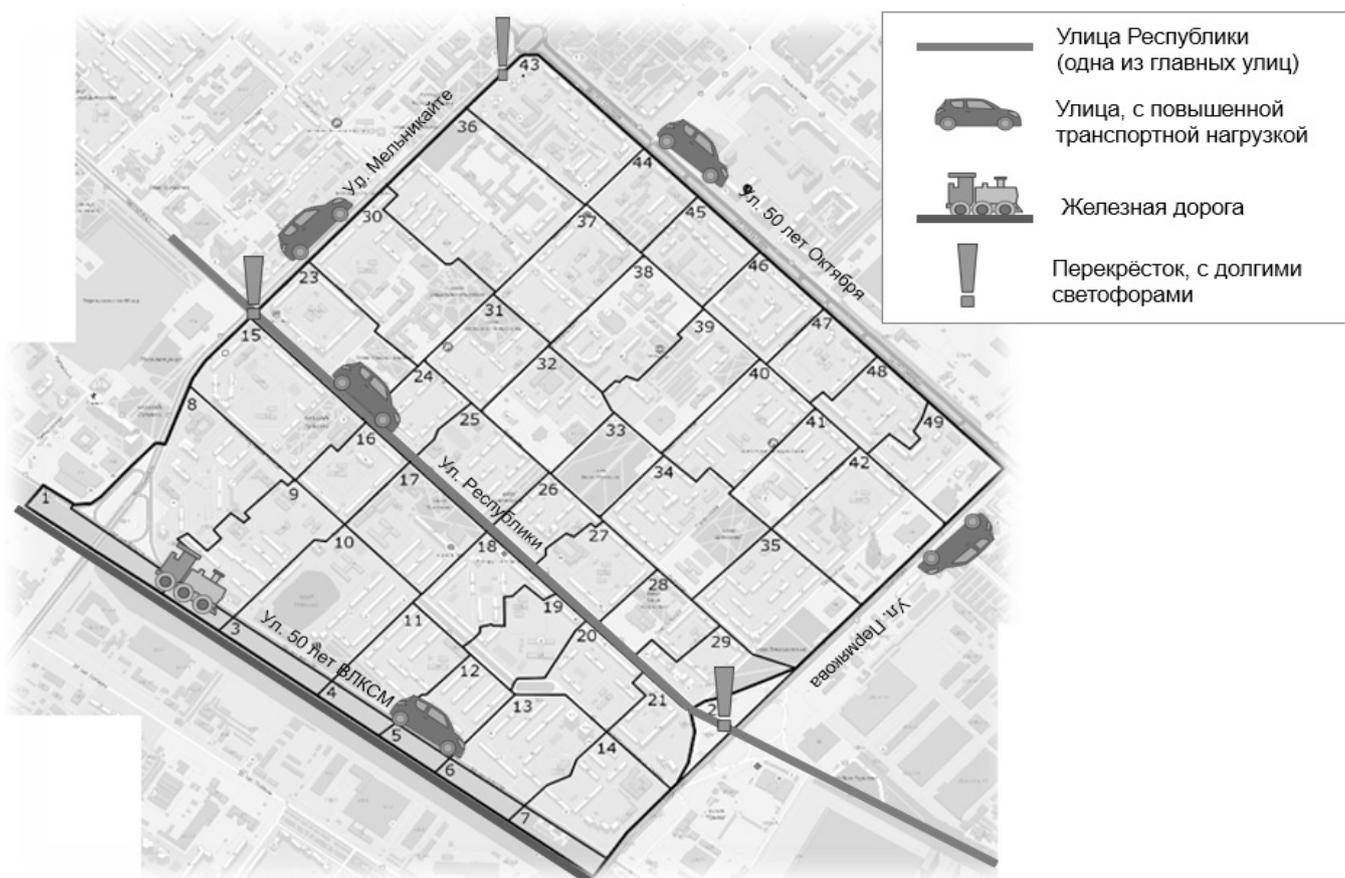


Рис. 2. Участок исследования с факторами техногенного воздействия

родского населения вырос со 148,5 (2000 год) до 354,4 (2021 год), рисунок 1. Ежегодный показатель выбросов от автотранспорта на сегодняшний день составляет порядка 92,1 тыс. тонн в год. [6]

В настоящее время в городе Тюмени существует проблема недостаточного озеленения городских территорий. В частности, преимущество при строительстве отдаётся транспортным развязкам, новым дорогам, новым жилым районам, где зачастую на весь крупный район имеется всего лишь несколько небольших линий озеленения. На отдельных участках городской территории наблюдается достаточный уровень озеленения, однако эти участки отдалены от зон проживания людей, а процесс озеленения городской застройки хоть и имеет слабую тенденцию к увеличению, однако очень замедлен.

Для анализа состояния древесных растений, нами был выбран центральный участок города, с разными факторами техногенного воздействия. На участке исследования находится исторически сложившаяся железная дорога, имеется несколько крупных транспортных развязок, участок прилегает к 4 улицам с большим

транспортным потоком и пиком транспортной нагрузки в будни, помимо этого, к участку прилегает одна из главных улиц города. Участок окружен улицами: Мельникайте и 50 лет ВЛКСМ, 50 лет ВЛКСМ и Пермьякова, Пермьякова и 50 лет Октября, 50 лет Октября и Мельникайте. Общая площадь участка составляет 2 880 000 м². Для более детального анализа исследуемый участок был поделён на 49 равнозначных сегментов (рис. 2).

Исследование проводилось в летний и зимний период на протяжении 4 лет. В рамках исследования была оценена плотность озеленения на участках с учётом травянистой растительности.

Для определения степени озеленения нами была разработана шкала оценки плотности озеленения. При анализе соотносилась общая площадь участка с площадью зданий и инфраструктуры в сегментах. За основу были взяты следующие параметры плотности озеленения: от 0 до 30%; от 30% до 70%; от 70% до 100% (табл. 1).

В ходе мониторинга нами были проанализировано общее состояние хвойных и лиственных растений,

Таблица 1. Шкала интенсивности озеленения

% плотности озеленения	Степень озеленения	Характеристика плотности
0–30%	низкая	Озеленение на данном участке полностью отсутствует или представляет собой небольшой газон или цветник
30–70%	средняя	Озеленение представлено в виде скверов, но большую часть занимают дорожное покрытие и детские площадки и меньшую озелененные участки
70–100%	высокая	Площадь озеленения преобладает над площадью мощения

Общее состояние лиственных деревьев



Рис. 3. Общее состояние лиственных растений

включая травяной покров, во всех сегментах участка. Оценка проводилась по разработанной нами методике. Методика разрабатывалась на основании Российского и международного опыта, а также на основании предварительных исследований и апробаций. В основу методики был положен метод фитоиндикации растений. Вследствие чего, нами была разработана таблица с основными данными, которые необходимо учитывать при анализе состояния растений. В частности, рассматривались такие показатели, как: примерный возраст растений, визуальное состояние на наличие усыханий и повреждений, визуальное наличие пыли, вид растения, проективное покрытие, среднее расстояние между деревьями, уровень загрязнения, некрозы, усы-

хания, наличие пыли на образцах и вывод по общему состоянию растений на каждом участке.

Необходимо отметить, что лиственные и хвойные деревья. Анализировались отдельно. Образцы хвойных растений, представленные в городе елью обыкновенной (*Picea abies*) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), отбирались преимущественно в зимний период. Образцы лиственных растений, представленные березой белой (*Betula pubescens*) и тополем черным (*Populus nigra*) отбирались в летний период, при этом за летний период, для корректности исследования и исключения влияния погодных факторов, отбор проводился около 3 раз методом конверта. Важно отме-

ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ



Рис. 4. Общее состояние хвойных растений

тить, что на каждом сегменте участка было выведено среднее значение.

Все образцы анализируемых растений представляют собой веточки длиной 7–15 см. Среднее количество деревьев, с которых отбирались образцы, составляли порядка 50% от общего количества деревьев в сегменте.

По результатам полученных данных были составлены карты общего состояния лиственных деревьев (рис. 3) и хвойных деревьев (рис. 4), которые позволили установить зависимость между техногенным воздействием и общим состоянием растений.

Согласно полученным результатам и цветовой визуализации по лиственным растениям, отмечаются следующие выводы: на участках, где преобладают улицы с повышенной транспортной нагрузкой и долгими светофорами, чаще встречаются сегменты с общим неудовлетворительным состоянием. Причина — выявленный некроз листьев и наличие пыли, травяной покров в неудовлетворительном состоянии. Необходимо отметить, что на тех сегментах, где наблюдалась более высокая

плотность озеленения, отмечалось их удовлетворительное состояние. В зоне железной дороги у лиственных растений было выявлено неудовлетворительное состояние из-за наличия обильного количества пыли, при этом некроз был в минимальных количествах. В середине участка, в зоне жилых микрорайонов отмечалось оптимальное состояние растений (признаки некроза и наличия пыли были минимальны или совсем отсутствовали).

Согласно полученным результатам и цветовой визуализации хвойных растений отмечалось следующее: на участках, где преобладают улицы с повышенной транспортной нагрузкой и долгими светофорами, чаще всего наблюдаются сегменты с общим неудовлетворительным состоянием растений и травяного покрова, с явным проявлением признаков некроза и усыханий. При этом в сегментах 1–10, 16, 24, 26, 28, 29, 32, 35–49 хвойные растения практически отсутствовали.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований показали, что зеленые насаждения в выбранном районе города Тюмени,

в большинстве своем находятся в неудовлетворительном состоянии. Это обусловлено не только негативным воздействием антропогенных и техногенных факторов, но и подбором культур без учета их биологических особенностей.

2. Уровень техногенной нагрузки проявляется в виде усыханий веток и листьев, загрязнений и некрозов.
3. При низкой плотности озеленения растения не справляются с оказываемой техногенной нагрузкой.
4. Наибольшее влияние на состояние городских древесных культур оказывает транспортная инфраструктура и рост автомобилизации населения.
5. Грамотно спланированный процесс городского озеленения, с учётом биологических особенностей растений, может решить проблему повышенной техногенной нагрузки городов и позволит сохранить городскую экосистему на высоком уровне для будущих поколений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт ООН: Организация объединенных наций: [сайт].— URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cities> (дата обращения: 16.11.2022).— Текст: электронный.
2. Всемирная Организация Здравоохранения: Общественная организация: [сайт].— URL: [http:// https://www.who.int](http://https://www.who.int) (дата обращения: 16.11.2022).— Текст: электронный.
3. Ситдикова А.А./ Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха / А.А. Ситдикова, Н.В. Святова, И.В. Царева // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 3. — с. 591.
4. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям//Почвоведение. 1999. № 1.С.85–89.
5. Герасимова А.А. Фенологический мониторинг древесно-кустарниковой растительности г. Тюмень//Экологический мониторинг и биоразнообразие: материалы международной конференции — Ишим, 2015. — № 3(10). — С. 10–13.
6. Официальный портал органов государственной власти Тюменской области: Правительственная организация: [сайт].— URL: <https://admtymen.ru> (дата обращения: 20.11.2022).— Текст: электронный.

© Суменкова Ольга Андреевна (sumenkova_1998@mail.ru),

Гузеева Светлана Анатольевна (nesterka07@mail.ru), Стрельцов Роман Михайлович (berserk-1991@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

К ВОПРОСУ ОБ ОБЩЕСТВЕННОМ МОНИТОРИНГЕ БИОСФЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

ON THE ISSUE OF PUBLIC MONITORING OF BIOSPHERE OBJECTS

E. Tomshin

Summary. The definition of the meaning and place of public monitoring of biosphere objects in the activities of public associations is at the center of this article. It is shown that environmental monitoring can be integrated into the work of such associations, serve as an important component of practical activities understandable to participants, and present convincing and visual results to society.

Using the example of a specific action, the authors formulated the methodology of public monitoring when working with young people, and also described the components of the general algorithm of work (methodological and practical stages). Since digitalization is one of the trends of the time, attention is paid to the analysis of information systems to support monitoring systems at the state, industrial and public levels. It is revealed that at the moment there is a lack of digital means to support public monitoring of biosphere objects, the conceptual ideas of a mobile application specially developed for these purposes are described. The author's personal contribution is not only the management of the projects of public monitoring of biosphere objects analyzed as research material, but also participation in the development of this mobile application.

Keywords: biosphere object, environmental monitoring, public monitoring, public association.

Томшин Евгений Александрович

*Аспирант, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
et@avsb.ru*

Аннотация. Определение значения и места общественного мониторинга биосферных объектов в деятельности общественных объединений находится в центре данной статьи. Показано, что экологический мониторинг может быть встроен в работу таких объединений, служить важной составной частью понятной для участников практической деятельности, представлять обществу убедительные и наглядные результаты.

На примере конкретной акции авторами сформулирована методология общественного мониторинга при работе с молодежью, а также описаны составные части общего алгоритма работы (методический и практический этапы). Так как одним из трендов времени является цифровизация, уделено внимание анализу информационных систем поддержки систем мониторинга на государственном, производственном и общественном уровнях. Выявлено, что в настоящий момент наблюдается недостаток цифровых средств поддержки общественного мониторинга биосферных объектов, описаны концептуальные идеи специально разрабатываемого под эти цели мобильного приложения. Личным вкладом автора является не только руководство анализируемыми в качестве материала исследования проектами общественного мониторинга биосферных объектов, но и участие в разработке указанного мобильного приложения.

Ключевые слова: биосферный объект, экологический мониторинг, общественный мониторинг, общественное объединение.

Экономическое развитие государства, особенно такого крупного и многонаселенного, как Россия, невозможно без прорывного роста промышленности и наращивания темпов производства. Современные технологии позволяют минимизировать индустриальную нагрузку на окружающую среду, однако пока не удастся обеспечить полноценную защиту окружающей среды от неизбежных проблем, связанных с антропогенным воздействием. Особую роль в развитии природоохранной деятельности играют оценка, изучение и предотвращение негативного влияния промышленного производства и антропогенного фактора в целом на среду нашего обитания.

В последнее время в России развивается комплексный подход к мониторингу и защите биосферных объектов, который обеспечивается на всех уров-

нях — от государственного до общественного, включая непосредственный контроль руководителей производств над последствиями их деятельности. В стране существует необходимая законодательная база, регулирующая природоохранную деятельность [1], определены обязанности промышленных предприятий по защите окружающей среды и ответственность за возможное негативное влияние, разработаны и постоянно совершенствуются алгоритмы контроля и мониторинга биосферных объектов [2,3].

На государственном уровне нормативную и правовую сторону изучения, использования, воспроизводства и охраны природных ресурсов определяет Минприроды РФ. Контроль в сфере природопользования и защиты окружающей среды обеспечивает специальное ведомство — Росприроднадзор. На предприятиях

действует производственный экологический контроль, это целая система мер, которые помогают руководству промышленных объектов выявлять и предотвращать возможное негативное влияние их деятельности на окружающую среду. Однако, учитывая масштабы территории, которую необходимо контролировать, следует признать, что в этой «зоне покрытия» остается немало пробелов. Оказалось, что эффективнее всего с этой проблемой справляется общественный мониторинг [4] — практическая деятельность жителей, общественности, местных властей, которая помогает обеспечить контроль соблюдения экологических норм на участках, которые по тем или иным причинам не смогли охватить госструктуры и производственники. Таким образом реализуется трехзвенная система непрерывного экологического мониторинга: государство — производство — местная общественность.

Целью данной статьи является анализ низового звена этой системы, а именно — изучение методологии общественного мониторинга биосферных объектов на примере деятельности одного из объединений молодежи и студентов. Центральная задача статьи — определение объема и перечня работ по мониторингу биосферных объектов в типовой деятельности общественного объединения.

Участники общественного мониторинга биосферных объектов — это, как правило, люди с активной жизненной позицией, хорошим знанием местных реалий и особой заинтересованностью в экологическом благополучии родного города, села или поселка. В ряде ситуаций их элементарная наблюдательность оказывается не менее эффективной, чем различные научные и экспертные методы, так как позволяет по косвенным чертам определить признаки экологического неблагополучия — неестественный запах, задымленность, необычный цвет воды или пленку на поверхности водоема. Полученная таким образом информация может стать основой для профессиональной научной экспертизы с привлечением специалистов-экологов, а также для проверки предприятий-потенциальных нарушителей.

Важен также социальный аспект общественно-экомониторинга [6]. Охрана окружающей среды привлекает к себе очень много молодежи. Наблюдая за происходящими в природе процессами, за изменениями окружающего мира, получая при этом необходимые знания, молодые люди учатся анализировать и правильно оценивать ситуацию, осознают свою ответственность за качество собственной жизни, жизни своих современников и будущих поколений. Взаимодействуя с опытными наставниками и профессиональными экологами, они приобретают полезный опыт и навыки и в конечном счете формируют в себе правильную

систему ценностей. Таким образом, общественный мониторинг окружающей среды несет в себе важные образовательные и воспитательные функции.

Практика общественного экологического мониторинга

Материалом исследования были выбраны результаты ряда мероприятий, проведенных автором в составе коллектива Автономной некоммерческой организации «Центр патриотического воспитания «Гвардия» на территории Троицкого и Новомосковского административных округов Москвы (ТиНАО). Программы экологического воспитания являются одним из направлений работы этой организации наряду с изучением культурного наследия, военно-спортивными играми.

В работе по защите окружающей среды представители объединения опираются на несколько основных принципов: это практическая помощь, открытое обсуждение, а также сотрудничество с населением и представителями местных властей. Итогом этой совместной предварительной работы становится эффективный план действий, который помогает всесторонне ознакомиться с проблемой и найти для нее максимальное эффективное и продуманное решение.

Например, с 2018 г. в рамках проекта «Я берегу природу» [7] ежегодно проводится комплексный мониторинг биосферных объектов на территории поселений Воскресенское, Первомайское, Дёсеновское, Московское, Сосенское, Щаповское, Роговское. Силами общественников были обнаружены стихийные скопления различного мусора, произведен их сбор и анализ, утилизация, а также очистка прилегающих природных объектов (берега рек и водоемов), посадка деревьев и кустарников.

Так как в акциях общественного объединения принимают участие молодежь различных социальных групп (школьники, студенты, молодые эко-активисты) для выполнения задач общественного экомониторинга был сформирован базовый сценарий из двух частей: методической и практической. Методическая часть включает получение молодыми людьми прикладных знаний по экологии и биологии, ОБЖ, краеведению и топографии. В ходе методической подготовки специалисты из профильных структур и государственных учреждений делятся с участниками мониторинга опытом работы, принципами проведения мониторинга биосферных объектов, приемами и алгоритмами контроля за состоянием природных территорий. Практическая часть представляет собой обучающую игру в популярной и понятной молодежи формате (квест, квиз): участники делятся на команды, получают план местности, за-

дачу, и приступают к ее выполнению. В работе широко используются цифровые средства, в том числе различные мобильные приложения и электронные справочники.

Рассмотрим подробнее типовой алгоритм выполнения практической части. Как правило, в начале каждая команда получает учебно-игровой набор (инструменты мониторинга, приспособления, инвентарь и приборы, необходимые для выполнения заданий). Например, в набор для задачи по очистке территории от мусора входят компас, дозиметр, тестер качества воды, планшет с планом местности, фрагменты карт, маршрутный лист команды, лист с заданием, бумага и принадлежности для записи, уборочный инвентарь (перчатки, лопатки, грабли, пакеты для мусора).

Ознакомившись с заданием и полученным инвентарем, команды приступают к следующему этапу: они должны сориентироваться на местности и проложить маршрут к отдаленным участкам территории (или отмеченным на карте объектам), собрав воедино фрагменты карты и образцы проб почвы и воды. Перемещаясь по маршруту, участники рисуют схему местности и отмечают на ней места, где обнаружили мусор, разделяя его на категории и классифицируя, как предложено в задании. Одна из дополнительных задач — обнаружить на местности определенное количество видов растений в нескольких местах на протяжении маршрута, провести анализ доступности для питья воды из источников/родников. Растения, источники или другие объекты нужно сфотографировать и указать в маршруте их местонахождение, взять пробы для последующего лабораторного анализа, отметить места взятия проб.

Нанеся на карту все необходимые отметки, члены команды повторно проходят маршрут и убирают все найденные скопления мусора. За выполнение каждой задачи им начисляются баллы. По правилам, в случае затруднений можно обращаться за помощью к координаторам, но баллы при этом снимаются. В финальной части молодые люди сдают выполненные задания и получают заслуженные награды.

Самым впечатляющим и заметным итогом акции становятся чистые берега рек и участки зеленых территорий. Дополнительно уточняются карты местности, выявляются несанкционированные участки сброса мусора, места взятия проб позволяют уточнить состав и загрязненность почвенного покрова, источников питьевой воды. Ученые профильных научных учреждений, сотрудничающие с участниками объединения, получают ценный фактологический материал для исследований (пробы, записи), а сами участники — полезные

навыки и прикладные знания, в том числе по экологии, биологии, географии, психологии и спортивному ориентированию.

Цифровизация общественного мониторинга биосферных объектов

Одной из центральных задач мониторинга биосферных объектов является координация всех участников мониторинга, а также ученых, специалистов-практиков, представителей надзорных органов и органов власти разного уровня.

На государственном уровне широко представлены информационно-аналитические системы экомониторинга (назовем, например, Информационно-аналитическую систему экологического мониторинга, ИАСЭМ [8]. Ее основными функциями являются: автоматический сбор, хранение, обработка и предоставление информации о состоянии окружающей природной среды регионов, а также управление экологической политикой на уровне региона на основе этих данных).

На уровне предприятий и производств внедрены и действуют различные отраслевые и местные информационные системы: например, Информационно-аналитическая система производственного экологического мониторинга и контроля, ИАС ПЭМик [9], предназначенная для экологов предприятий. Программное обеспечение этой ИАС также осуществляет сбор, хранение, обработку и визуализацию измерительной информации, но не на уровне региона, а на уровне предприятия (т.е. входящая информация поставляется автоматизированными датчиками, установленными на объектах и элементах инфраструктуры данной ТЭЦ, фабрики или завода).

В отличие от двух верхних уровней мониторинга, средства цифровизации общественного мониторинга биосферных объектов отсутствуют или носят местный, локальный характер [5]. Это связано, с одной стороны, со сложностью реализации такого проекта, адаптированного под профиль обычного рядового пользователя-волонтера, не погруженного в профессиональные вопросы экологического мониторинга. С другой — с широчайшей географией присутствия подобных пользователей (масштаб страны). Кроме того, у разработки подобного программного обеспечения отсутствует генеральный заказчик, не определены условия владения и технической поддержки, зачастую отсутствуют энтузиасты, способные адаптировать свой практический опыт проведения акций общественного мониторинга к реальным показателям, а также к функционалу компьютерной программы.

Являясь экологом-практиком, автор статьи принимает активное участие в разработке подобных цифровых инструментов общественного мониторинга биосферных объектов, в частности — мобильного приложения «Террологика» [10], которое способно восполнить недостаток цифровых средств для общественного мониторинга биосферных объектов.

Приложение будет представлять собой программу для мобильного телефона, где на геоинформационной подоснове развернут интерфейс с личным кабинетом участника. Физическая карта местности, различные справочники по экологическому мониторингу, ботанике, ориентированию, нормативная база и правила проведения акций и мероприятий, а также возможности объединения пользователей для групповой активности, — все это делает «Террологику» незаменимым инструментом совместной работы, адаптированным к условиям полевой деятельности волонтерских команд.

С помощью приложения можно будет решать большое количество практических и организационных задач. Например, фиксировать скопление мусора на природных территориях, формировать группы добровольцев для уборки или мониторинга состояния биосферных объектов, оперативно получать от них данные с результатами, помогать им ориентироваться на местности, даже в труднодоступных местах и условиях бездорожья. Вся получаемая от участников информация будет стекаться в единый информационный центр, где ее смогут изучить специалисты-экологи и при необходимости предложить на основе анализа этих данных грамотное решение вопроса. Представители курирующих организаций (контрольно-надзорные органы, органы власти разных уровней) смогут дать полноценную и объективную оценку деятельности волонтеров, принять меры по снижению негативной нагрузки на биосферных объект, буквально по карте определив границы необходимого административного воздействия.

Еще одно важнейшее свойство новой программы — возможность дистанционной координации

и стихийного (вне акций и проектов) формирования команд для выполнения уборки территории, оценки экологической обстановки на местности и других подобных целей. Такая опция позволяет существенно расширить территорию мониторинга (поселок, край, область, страна), снизив при этом затраты на координацию работы отдельных площадок. Кроме того, система поможет определить рейтинг участников по итогам выполнения заданий и заработанных баллов. А еще мобильное приложение даст возможность волонтерам-одиночкам выбрать коллективные волонтерские программы, поможет молодежи определиться с будущей профессией, направляя данные об участнике в профильные организации и ВУЗы, тем самым формируя своеобразный «репутационный портфель участника».

ВЫВОДЫ

Экологический мониторинг, будучи встроен в работу различных общественных объединений молодежи, станет служить важной составной частью для участников практической деятельности, представляя обществу понятные, убедительные и наглядные результаты деятельности. В этой связи помимо практической направленности, в разрабатываемых мероприятиях по общественному мониторингу следует уделять внимание методической составляющей, что позволит глубже познакомить участников (особенно молодежь) с целями и задачами экологического мониторинга, обучить их использованию инструментов и материалов. Координационную и справочно-аналитическую функцию подобной работы могут выполнять информационные системы и программное-обеспечение. Однако в сфере общественного мониторинга их разработка вызывает определенные сложности. Предложенное мобильное приложение «Террологика» призвано восполнить этот недостаток через предоставление единой информационной среды для волонтерских групп и проектов, отдельных энтузиастов и всех специалистов, заинтересованных в получении обширных и достоверных данных по состоянию биосферных объектов в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранин В.Г. Правовые и организационные аспекты порядка осуществления государственного мониторинга окружающей среды (Государственного экологического мониторинга). — *Моя профессиональная карьера*. 2022. Т. 2. № 41. С. 102–112.
2. Боровских Н.В. Инновации в области экологии: учет на российских предприятиях и динамика внедрения /Социально-экономические проблемы и перспективы развития трудовых отношений в инновационной экономике. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отв. редактор Е.А. Кипервар. Омск, 2022. С. 37–40.
3. Белянина, Н.В. Организация и функционирование геоинформационной системы экологического мониторинга на основе распределенных вычислений / Н.В. Белянина. — М.: Синергия, 2010. — 175 с.

4. Гангалю Ю.И., Южакова Т.В., Общественный экологический мониторинг в системе общественного экологического контроля /Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт. 2018. С. 64–68.
5. Гребень А.А., Боброва О.Ф. Разработка информационной web-платформы для ведения общественного экологического мониторинга на территории Белгородской области / Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт. Двадцать третья международная научно-практическая конференция. 2019.С.312–314
6. Зязев Б.Ю., Любская О.Г. Особенности проведения общественного экологического мониторинга в Российской Федерации / Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2022). Сборник материалов Международной научно-технической конференции. Москва, 2022. С. 25–27.
7. Экологический проект «Я берегу природу». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://цпв-гвардия.рф/ekologicheskij-proekt-ya-beregu-prirodu> (дата обращения 20.01.2023 г.)
8. Информационно-аналитическая Система Экологического Мониторинга (ИАСЭМ). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.airsoft-bit.ru/programecologs/115-eco-monitoring> (дата обращения 20.01.2023 г.)
9. Информационно-аналитическая система производственного экологического мониторинга и контроля (ИАС ПЭМик). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://npfdiem.ru/proghrammnoie_obiespiechieniie (дата обращения 20.01.2023 г.)
10. Террология. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://цпв-гвардия.рф/terrologika>—lyubitelskaya-enciklopediya (дата обращения 21.01.2023 г.)

© Томшин Евгений Александрович (et@avsb.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ В ПЕРИОД С 2017 ПО 2021 ГГ

ASSESSMENT OF THE GAS TRANSMISSION SYSTEM'S IMPACT ON THE STAVROPOL TERRITORY'S ENVIRONMENTAL SITUATION FROM 2017 TO 2021

**I. Chadova
E. Makarova**

Summary. The article highlights the problem of the gas transmission system's influence on the environment. The atmospheric air pollution's levels by gas emissions; the formation of contaminant and water intake from water bodies to meet the needs of the relevant industry was comparison by year (from 2017 to 2021). The main trends (positive and negative) of changes in these environmental indicators are identified, and the risks of the impact of emissions on humans and natural communities are described. Some ways of stabilizing the negative dynamics identified in relation to the gross emissioof contaminant are proposed.

Keywords: gas transmission system, natural gas, contaminant, environmental situation.

Чадова Инна Николаевна
К.б.н., доцент, ФГАОУ ВПО «СКФУ»
innachadova@yandex.ru
Макарова Елена Витальевна
К.п.н., доцент, ФГАОУ ВПО «СКФУ»
angeldeplata@mail.ru

Аннотация. В статье освещена проблема влияния газотранспортной системы на окружающую среду. Проведено сравнение по годам (в период с 2017 по 2021 гг.) уровней загрязнения атмосферного воздуха выбросами газа; образования вредных отходов и забора воды из водных объектов для обеспечения нужд соответствующей отрасли. В ходе работы установлены основные тенденции (как положительные, так и отрицательные) изменения данных экологических показателей, а также описаны риски воздействия выбросов на человека и природные сообщества. Предложены некоторые способы стабилизации негативной динамики, выявленной в отношении валового выброса вредных веществ.

Ключевые слова: газотранспортная система, природный газ, вредные выбросы, экологическая ситуация.

Природный газ входит в четверку наиболее потребляемых человеком энергетических ресурсов, спрос на которые с каждым годом только возрастает. Для России, занимающей одну из лидирующих позиций среди других стран по запасам природного и попутного газа и ключевое место (40% объема) в его мировой добыче, проблема негативного воздействия газовой отрасли на окружающую среду особо значима [1,4].

Несмотря на то, что среди других, используемых в качестве топлива видов сырья, газ содержит наименьшее количество канцерогенов и токсичных составляющих, содержание в нем метана (98%), азота (0,23–4,9%), углекислого газа (08–4,57%) и прочих примесей представляет определенную опасность для объектов природы [1,6]. К наиболее отрицательным последствиям воздействия природного газа относятся: снижение продуктивности земледелия, урожайности и безопасности сельскохозяйственных растений и мяса животных, в организм которых попали его вредные компоненты;

усиление парникового эффекта; взрывы и аварии, происходящие при смешивании газа с воздухом под воздействием малейшей искры, а также сопутствующий им ущерб, нанесенный объектам пораженной зоны. Результатом термического и механического воздействия такого рода чрезвычайных ситуаций являются изменения температурного и влажностного режима почвы и грунта в значительных масштабах, что влечет за собой различную по своей выраженности деградацию экосистем пострадавших территорий. Вредные вещества, попадая в атмосферу, способны причинить вред здоровью человека и других живых организмов [2].

Ставропольский край не только потребляет в значительном объеме природный газ (уровень газификации населения края на 01 января 2022 года составил 98,28 процентов, потребление населением и предприятиями — около 7 млрд. куб. метров в год), но также является одним из его основных добытчиков в Северо-Кавказском Федеральном округе (порядка 170 млн. куб. метров в год). К наиболее известным газовым место-

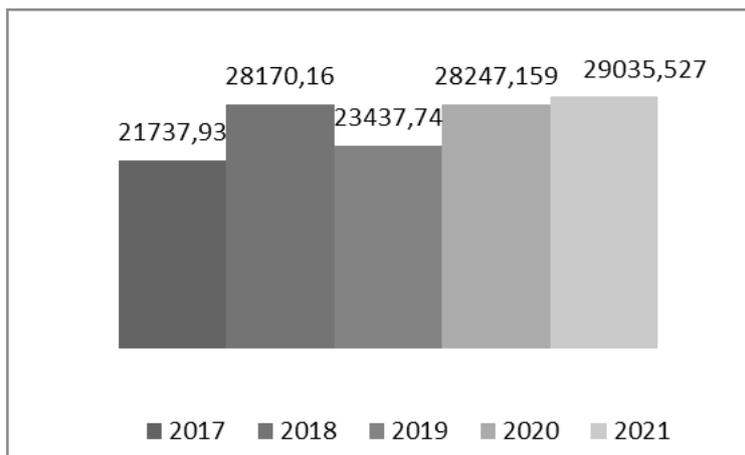


Рис. 1. Валовые выбросы загрязняющих веществ в период с 2017 по 2021 гг. (тонн)

рождениям края относятся: Мирненское, Сенгилеевское и Северо-Ставропольско-Пелагиадинское [7].

Общая протяженность всех видов газопроводов (магистральных, межпоселковых и пр.) края составляет более 50 тыс. км. К наиболее известным магистральным газопроводам относятся первый многониточный газопровод «Ставрополь-Москва» и «Голубой поток», введенный в эксплуатацию в 1965 г., и берущий свое начало от крупнейшего в Европе Северо-Ставропольского подземного хранилища газа (ПХГ). ПХГ возникло на базе естественного резервуара Северо-Ставропольско-Пелагиадинского месторождения в 1979 г. и с тех пор выполняет важную роль в регулировании уровня экспортных поставок, зависящих от особенностей сезонного спроса, являясь автономным источником газотранспортной системы страны. «Голубой поток» — магистральный газопровод, проложенный по дну Черного моря по направлению от России к Турции, протяженностью 1213 км. Таким образом, Ставропольский край в отношении газовой отрасли является стратегическим субъектом Российской Федерации.

К газовым объектам края относятся 7 компрессорных и 187 газораспределительных станций. Среди крупнейших газовых компаний стоит выделить: ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», специализирующееся на транспортировке газа по центральным газопроводам; АО «Газпром газораспределение Ставрополь», осуществляющее газораспределительную функцию по сетям; ООО «Газпром межрегионгаз Ставрополь» — являющееся крупнейшим поставщиком газа; Светлоградское газопромышленное управление — филиал ООО «Газпром добыча Краснодар» — предприятие-добытчик газа на территории Ставропольского края; ОАО «СевКавНИПИгаз», ответственное за проектные и научно-исследовательские работы [7].

Доля Ставропольского края в добыче природного и сопутствующего газа в общероссийских масштабах невелика — порядка 0,06% удельного веса добычи всех регионов страны. Поэтому основная экологическая нагрузка газовой отрасли в регионе связана, прежде всего, с процессом транспортировки газа. На пути следования газопроводов возможны как различные аварии, так и утечки, происходящие без видимых повреждений труб. Так, установлено, что потери газа при средней дальности транспортировки 2500 км в среднем составляют 1,0–1,2% от общего объема перекачки [5]. Причины аварий могут быть разнообразны: повышенная вибрация трубопроводов вблизи компрессионных станций; первоначальные погрешности монтажа; коррозия и износ материалов, дефекты оборудования, приводящие к отказу линейной их части и т.п. Значительная доля выбросов вредных веществ отмечается в период профилактических и ремонтных работ на газотранспортных сетях: во время пуска и остановки газоперекачивающих агрегатов компрессионных станций (выброс окислов углерода), продувки пылеуловителей и т.д.

В соответствии с общероссийской программой газификации на 2021–2025 г, в Ставропольском крае планируется расширение газотранспортной сети на 75 км, что еще больше обуславливает необходимость оценки влияния транспортировки газа на окружающую среду. В связи с этим цель работы заключалась в анализе изменения уровней валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, водопотребления и образования отходов в процессе транспортировки газа в Ставропольском крае в период с 2017 по 2021 гг. Для этого были взяты и проанализированы статистические сведения центрального в соответствующей системе предприятия края ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» [7]. Во внимание принимались также крупные аварии газотранспортной сети.

Таблица 1. Валовые выбросы метана в период с 2017 по 2021 гг. (тонн).

Год	2017	2018	2019	2021	2022
Валовые выбросы метана (тонн)	18429	24744	21050	26272	24376

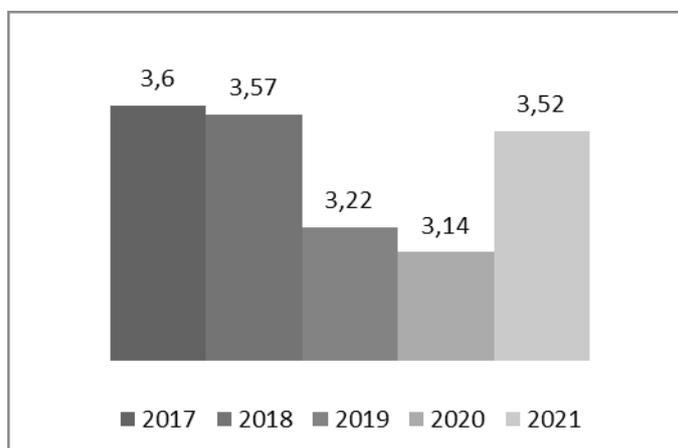


Рис. 2. Удельные выбросы оксидов азота (валовые выбросы на единицу топливного газа) в период с 2017 по 2021 гг (тыс. т /млн. м³)

Согласно данным за 2021 год, общий объем вредных газов (метана, оксидов углерода и азота и пр.) составил 29,03 тысяч тонн. По сравнению с показателями предыдущих пяти лет, эти цифры наиболее высоки. Их постепенный рост отмечался с 2017 года (за исключением 2019 года, когда наоборот отмечалось снижение показателей), что является следствием увеличения нагрузки на газотранспортную сеть. Кроме того, в 2021 году зафиксирован сверхнормативный выброс газа в размере 0,0025 тыс. тонн по причине аварии на газопроводе-отводе в 20 км. от г. Черкесска, связанный с его разгерметизацией и последующим возгоранием. Большую часть вредных веществ, выброшенных в окружающую среду в 2021 году, составили: метан — 84%, 6,8% — оксиды азота, 9,2% — оксиды углерода, 0,12% — прочие вещества (рис. 1).

Метан, на который приходится наибольший объем газовой смеси, по своей природе малотоксичен (удушье, потеря сознания и смерть наступают только при 20%-й его концентрации в воздухе). Однако он весьма взрывоопасен, способен загораться от малейшей искры и гореть с большой скоростью. Яркий пример — вышеописанный взрыв вблизи города Черкесска. Аналогичные случаи нередки, а учитывая перспективы значительного расширения газотранспортной сети Ставропольского края в ближайшие годы, необходимо предпринять все необходимые меры для минимизации риска возникновения подобных чрезвычайных ситуаций. Помимо этого, метан является парниковым

газом, повышающим риск глобального потепления. Так установлено, что килограмм данного газа по своему влиянию на глобальное потепление эквивалентен 35 кг углекислого газа [3].

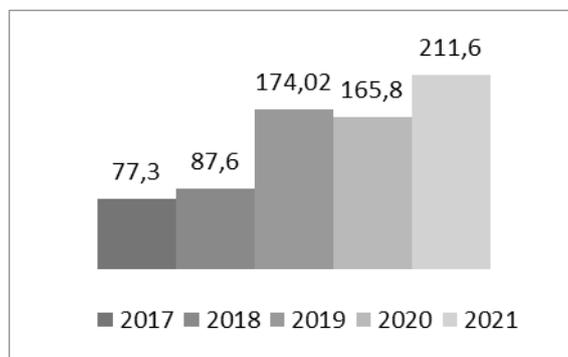
Выбросы метана в рассматриваемый промежуток времени не имели четкой тенденции к снижению или к повышению. Их количество из года в год менялось то в одну, то в другую сторону (табл. 1).

Более опасны для органического мира такие компоненты газовой смеси, как оксиды азота, утечка которых происходит преимущественно в процессе поступления газа в газоперекачивающие агрегаты компрессионных станций (КС). Это приводит к тому, что рядом с КС уровень данных веществ нередко достигает значений в 40–60 ПДК [3]. В период с 2017 по 2020 гг. установлено снижение выбросов оксида азота в атмосферный воздух с 3,6 по 3,14 тыс.т / млн. м³. Однако в 2021 показатели резко возросли до 3,52 тыс.т / млн. м³, приблизившись к отметке 2018 года (рис. 2).

Оксиды азота являются одной из причин возникновения кислотных дождей, а также ухудшения видимости, в том числе из-за образования фотохимического смога. Наибольший вред организму человека и животных представляет диоксид азота, нарушающий функции легких и бронхов. NO₂ оседает в различных ландшафтных углублениях и тем самым угрожает здоровью лиц,

Таблица 2. Показатели ежегодного снижения объема выбросов диоксида углерода с 2017 по 2021 гг. (тыс. тонн)

Год	2017	2018	2019	2020	2021
Количество CO_2 -эквивалента (тыс. тонн)	308,8	340	540,4	688,5	421

Рис. 3. Изменение объема потребляемой воды в период 2017–2021 гг., тыс. м³

осуществляющих техническое обслуживание машин. При его концентрации, равной 470–1880 мкг/м³, подавляется рост некоторых растений (например, томатов). В целом, все оксиды азота при относительно небольшом их содержании в воздухе способны вызвать раздражение слизистых оболочек носа и глаз, а при большой концентрации — привести к кислородному голоданию и даже отеку легких. Продолжительное влияние оксидов азота на людей приводит к хроническому бронхиту, воспалению желудочно-кишечного тракта, нервным расстройствам и сердечной слабости [5].

Оксиды углерода, не подлежащие нормированию, усиливают парниковый эффект на планете, что не позволяет игнорировать высокие показатели их выбросов. К ним относится опасный для человека и животных угарный газ, образующийся в результате неполного сгорания природного газа, произошедшего по причине неисправности или ошибок эксплуатации горелочных устройств, а также двигателей внутреннего сгорания [3].

Благодаря реализации «Программы энергосбережения и повышения энергоэффективности ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» ежегодно снижаются выбросы оксидов углерода, особенно интенсивно — с 2019 года (табл. 2). Так, в 2021 году количество выбросов оксидов углерода снизилось на 421 тыс. тонн CO_2 -эквивалента и составило 1595 тыс. тонн.

В оставшиеся 0,12% вредных выбросов входит газовый конденсат, этилмеркаптан и метанол. Особенности

газового конденсата — чрезвычайная взрывоопасность и широкие температурные пределы воспламенения. Газовый конденсат тяжелее воздуха, поэтому скапливается в его приземном слое, оказывая удушающее влияние, раздражая слизистые оболочки поверхности тела человека, а также вызывая кожные заболевания, например, дерматит и экзему.

Этилмеркаптан — токсичная горючая жидкость, испарения которой отравляют организм человека. Его предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны — 1 мг/м³. В небольших количествах может являться причиной тошноты и головной боли, в больших — приводить к расстройству центральной нервной системы (судорог, паралича, вплоть до остановки дыхания) [3].

Метанол — сильный яд, действующий преимущественно на нервную систему. В организм человека проникает через дыхательные пути и кожный покров. В больших концентрациях способен вызвать тяжелое отравление и даже смерть [5].

Помимо попадания в атмосферный воздух вредных составляющих газовой смеси, его транспортировка связана также с достаточно большим расходом водных ресурсов [6], а также загрязнением почвенного покрова природных ландшафтов продуктами отходов соответствующей отрасли.

Забор воды из поверхностных и подземных источников необходим для охлаждения потоков газа, обо-

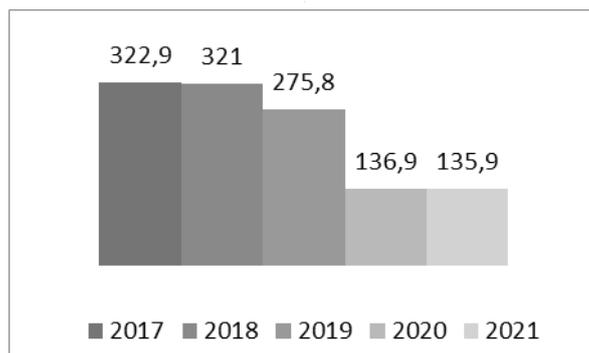


Рис. 4. Изменение водоотведения в период 2017–2021 гг., тыс. м³

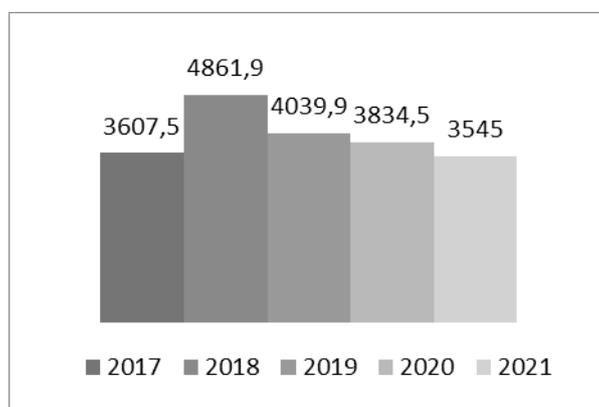


Рис. 5. Динамика образования отходов газотранспортной отрасли с 2017 по 2021 гг., тонн

рудования, его промывки, а также приготовления растворов-реагентов и т.д. Согласно полученным данным, водопотребление значительно возросло с 2017 по 2021 гг. Незначительное его снижение отмечено лишь в 2020 году по сравнению с предыдущим 2019 годом (рис. 3). В то же время водоотведение в ливневые и канализационные стоки с 2017 по 2021 гг. наоборот существенно снизилось по причине использования замкнутых систем водоснабжения (бессточные технологии) (рис. 4). Это в значительной мере позволяет компенсировать расход воды.

Динамика образования отходов газотранспортной отрасли за предыдущие пять лет (с 2017 по 2021 гг.) достаточно оптимистична (рис. 5). Так, с наиболее высокой отметки уровня образования отходов, зафиксированной в 2018 году, равной 4861,9 тоннам, к 2021 году удалось выйти к значениям в 3545 тонн. Причем подавляющая доля отходов относится к самому безвредному — 5-му классу опасности (53,7%), 30,7% и 14,8% — к четвертому и третьему классам опасностей и всего лишь 0,74%, и 0,06% — к наиболее

опасным второму и третьему классам соответственно.

Таким образом, в период с 2017 по 2021 гг. при транспортировке газа в Ставропольском крае выявлено постепенное повышение валового объема выбросов вредных веществ. При этом весомый вклад в загрязнение атмосферного воздуха внесли оксиды азота, оказывающие крайне неблагоприятное влияние на организм человека, животных, а также на растительные сообщества. Объемы их поступления в атмосферу особенно резко возросли к 2021 году. Увеличивающийся с каждым годом уровень водопотребления — еще одна установленная негативная тенденция, сопутствующая расширению газотранспортной сети края, которая несколько компенсируется отмечающимся в последние годы уменьшением водоотведения. К наиболее явным позитивным аспектам, наметившимся за последние пять лет, относится также снижение выбросов оксидов углерода в атмосферу и уменьшение образования отходов различных классов опасности, в том числе, подлежащих захоронению.

Результаты проведенного анализа свидетельствует о том, что меры, принимаемые для усиления экологической безопасности газотранспортной системы края, в ряде случаев дают ощутимый эффект. Однако увеличение отдельных негативных показателей в течение рассматриваемого периода времени является тревожным знаком и требует разработки и реализации большего количества природоохранных программ. К числу таковых можно отнести: мероприятия по снижению эмиссии парниковых газов при проведении ремонтных работ на газопроводах и компрессорных станциях; постоянный контроль соблюдения установленных нормативов предельно допустимых выбросов;

контроль соблюдения нормативов качества атмосферного воздуха; разработку новых проектов санитарных зон; реализацию проектов по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий и пр. Практическое внедрение подобных мероприятий, расширение их масштабов и разработка новых природоохранных программ с учетом меняющейся обстановки, будет способствовать стабилизации экологической ситуации на газотранспортных объектах Ставропольского края и позволит существенно снизить ущерб, наносимый газовой отраслью окружающей среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горюноква А.А., Галунова Д.В. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов // Известия ТулГУ. Технические науки. — Тула. — 2014. — № 11(2). — С. 293–295.
2. Денек Ю.В. Экология и охрана окружающей среды: настоящее и будущее // Газовая промышленность. — 2013. № 7. — С. 68–74.
3. Забелин Н.А., Лыков А.В., Рассохин В.А. Эмиссия загрязняющих веществ от газотранспортной системы ОАО «Газпром» // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2013. № 3. — С. 294–305.
4. Знаенко А.Б., Чадова И.Н. Экологическая культура в природоохранной деятельности // Молодежь: образование, наука, экология — 2021. Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки. Ставрополь. — 2021. — С. 101–106.
5. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «ЕЛИМА». 2004.
6. Чадова И.Н., Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Халикова В.С. Анализ химического загрязнения рек Большой Зеленчук и Кубань в районе города Невинномысск с 2012 по 2020 годы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. — Москва. 2021 — № 12 (2). — С. 51–58.
7. Экологический отчет ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», 2017–2021 г.

© Чадова Инна Николаевна (innachadova@yandex.ru), Макарова Елена Витальевна (angeldeplata@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ «ГОРЯЧИХ» РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ НА ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНЫЙ ТРАКТ МОНОГАСТРИЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

BIOLOGICAL EFFECT OF “HOT” RADIOACTIVE PARTICLES ON THE GASTROINTESTINAL TRACT OF MONOGASTRIC ANIMALS

**S. Shapovalov
G. Kozmin**

Summary. The main dosimetric characteristics of β -irradiation of the gastrointestinal tract (GIT) of monogastric animals (for example, rats, guinea pigs and pigs), leading to biological effects in the form of radiation-induced ulcerative necrotic lesions of the digestive tract with oral intake of insoluble “hot” radioactive particles (RP), are presented. The main factors leading to the formation and further development of such ulcerative radiation lesions are the uneven distribution of RP in the contents of the gastrointestinal tract, as well as the deposition of such particles on individual sections of the surface layer of the mucous membrane, which subsequently leads to the formation of local radiation levels that can exceed the average values of the formed absorbed doses. According to the results of the analysis of clinical manifestations of the effects of exposure to radioactive radiation, together with a pathoanatomical assessment of the process of formation of focal ulcerative lesions, the observed pathological process was classified as acute radiation ulcerative gastroenterocolitis ranked by mild, medium, severe and extremely severe degrees in strict dependence on the activity values of “hot” RP incorporated in the gastrointestinal tract and absorbed doses of β -radiation formed in the digestive tract experimental animals.

Acknowledgments: the authors of the article express their gratitude to Professors Viktor Alekseevich Budakov and Alexander Sergeevich Zenkin for providing indicators of the course of the disease, a pathoanatomic picture of radiation damage to the digestive tract and valuable comments

Keywords: biological effect, digestive tract, monogastric animals, rats, guinea pigs, pigs, hot radioactive particles, absorbed doses, acute radiation ulcerative gastroenterocolitis.

Шаповалов Станислав Геннадьевич

Соискатель, младший научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии

Козьмин Геннадий Васильевич

Кандидат биологических наук, доцент,
Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии, Обнинск
rira70@yandex.ru

Аннотация. Представлены основные дозиметрические характеристики β -облучения отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) моногастрических животных (на примере крыс, морских свинок и свиней), приводящие к возникновению биологических эффектов в виде радиационно-индуцированных язвенно-некротических поражений пищеварительного тракта при пероральном поступлении труднорастворимых «горячих» радиоактивных частиц (РЧ). В качестве основных факторов, приводящих к формированию и дальнейшему развитию подобных язвенных радиационных поражений, выступают неравномерность распределения РЧ в содержимом отделов ЖКТ, а также осаждение таких частиц на отдельно взятых участках поверхностного слоя слизистой оболочки, что впоследствии приводит к формированию локальных уровней облучения, которые более чем в 3 раза могут превышать средние значения сформированных поглощённых доз. По результатам анализа клинических проявлений последствий воздействия радиоактивного излучения совместно с патологоанатомической оценкой процесса образования очаговых язвенных поражений наблюдаемый патологический процесс классифицировали как острый радиационный язвенный гастроэнтероколит ранжированный на легкую, среднюю, тяжелую и крайне тяжелую степени в строгой зависимости от величин активности инкорпорированных в ЖКТ «горячих» РЧ и поглощённых доз β -излучения, сформированных в пищеварительном тракте экспериментальных животных.

Благодарности: авторы статьи выражают благодарность профессорам Виктору Алексеевичу Бударкову и Александру Сергеевичу Зенкину за предоставление показателей течения болезни, патологоанатомической картины радиационного поражения пищеварительного тракта и ценные замечания.

Ключевые слова: биологическое действие, пищеварительный тракт, моногастрические животные, крысы, морские свинки, свиньи, горячие радиоактивные частицы, поглощенные дозы, острый радиационный язвенный гастроэнтероколит.

Введение

Исследования биологического действия высоко-радиоактивных микроскопических источников ионизирующего излучения — «горячих» радиоактивных частиц (РЧ) различного генезиса в настоящее время являются весьма актуальным направлением для радиобиологии. Труднорастворимые РЧ с различным радионуклидным составом могут образовываться как в следствие радиационных аварий и ядерных взрывах, так и в результате радиоактивных выбросов и сбросов предприятий атомной промышленности эксплуатирующийся в штатном режиме [1–4]. Попадая в окружающую среду такие РЧ могут выступать в качестве фактора радиационного риска не только для человека, но и для сельскохозяйственных и домашних животных.

В ряде экспериментов, проводившихся на сельскохозяйственных и лабораторных животных, было установлено, что в результате перорального инкорпорирования в организм животных продуктов ядерного деления (ПЯД) в виде растворимых веществ и в виде труднорастворимых частиц с соизмеримыми величинами активностей, именно последние из них обладают более ярко выраженным биологическим действием, специфика которого проявляется в виде очаговых радиационных язвенно-некротических поражений пищеварительного тракта различной степени тяжести [5–7].

В связи с вышеописанными обстоятельствами целью настоящего исследования явилось изучение биологического действия β -излучения от инкорпорированных в пищеварительный тракт моногастрических животных (крыс, морских свинок и свиней) «горячих» РЧ, опираясь на результаты анализа дозиметрической, клинической и патологоанатомической картин радиационного воздействия таких частиц. Очень важно отметить, что моногастрические животные, использованные в настоящем исследовании, могут рассматриваться в качестве референтных организмов для оценки потенциальной опасности радиационного воздействия на мелких и крупных млекопитающих [8].

Материалы и методы

Биологическое действие труднорастворимых «горячих» РЧ, имитирующих локальные выпадения наземных ядерных взрывов, изучали на лабораторных грызунах обоего пола — крысах линии «Вистар» (*Rattus sp. strain Wistar*) массой 200–300 г, беспородных морских свинок (*Cavia porcellus*) массой 400–600 г, а также на сельскохозяйственных животных — поросятах домашних свиней (*Sus domesticus*) крупной белой породы возрастом 2–2,5 месяца и массой от 25 до 30 кг, благополучных по инфекционным и инвазионным заболеваниям. Ори-

ентируясь на показатели масса тела, общее физическое состояние, а также на пол и возраст экспериментальных животных из них формировали подопытные и контрольные группы. В среднем каждая группа состояла из 5–10 лабораторных животных и 2–3 поросят. Со всеми животными обращались в соответствии с руководящими принципами исследований на экспериментальных животных [9].

В рамках настоящих экспериментальных исследований в качестве частиц, имитирующих локальные выпадения наземных ядерных взрывов, использовали труднорастворимые РЧ «трехкомпонентной», «урановой» и «рениевой» моделей, представляющие собой стеклосферы диаметром от 80 до 160 мкм, активированные в потоке тепловых нейтронов. «Урановая» модель представляла собой полидисперсные стеклосферы, на поверхность которых до нейтронной активации наносилась соль ^{235}U (уранил $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). РЧ «трехкомпонентной» модели содержали в своей силикатной матрице набор радионуклидов в следующем соотношении: ^{165}Dy (42%), ^{142}Pr (45%) и ^{90}Y (13%). В силикатные матрицы РЧ «рениевой» модели были вплавлены радионуклиды рения ^{186}Re и ^{188}Re . Способность «трехкомпонентных» и «рениевых» РЧ растворяться в кислотах и щелочах не превышала 1–2%. Для «урановых» РЧ данный показатель не превышал 5%. Активность модельных РЧ, перорально поступивших в пищеварительный тракт экспериментальных животных с кормом, варьировалась от 100 до 1500 МБк/кг (на 1 кг массы тела животного) [10].

В экспериментах на лабораторных животных модельные РЧ взвешивали путем барботирования в 2,5%-ом геле на основе картофельного крахмала. Рассчитанные количества РЧ вводили грызунам внутривентрикулярно при помощи шприца через металлический зонд. На одно лабораторное животное приходилось около 2,5–3 мл геля, содержащего модельные РЧ. При помощи дозиметрического прибора ДРГЗ-03 контролировали процесс поступления РЧ в организм крыс и морских свинок, проводя измерения мощности дозы тормозного и γ излучения в области расположения желудка до и после введения геля с РЧ. [11,12]. В экспериментах на поросятах известное количество РЧ помещали в кормушку со 100 г-ми комбикорма, которую устанавливали в индивидуальной обменной клетке. Потребление поросятами корма, содержащего РЧ, контролировали путем измерения показателей мощности дозы от излучения кормушки до и после скармливания содержимого [13].

В процессе проведения исследований осуществлялся регулярный сбор выделенных фекалий с последующим взвешиванием и отбором средних проб

для каждой особи. После умерщвления животных осуществляли препарирование пищеварительного тракта с предварительным лигированием каждого из структурных отделов. На следующем этапе осуществляли раздельное взвешивание желудка, тонкого и толстого отделов кишечника (с содержимым и без него) после чего отбирали средние пробы содержимого отделов и фрагментов их стенок.

Оценку биокинетических транспортных характеристик модельных РЧ, инкорпорированных в ЖКТ экспериментальных животных, проводили при помощи компартментального анализа [14]. Полное описание данной методики представлено в работе [15] авторов настоящего исследования.

Для наиболее точной оценки величин поглощенных доз β -излучения, вызвавших радиационно-индуцированное язвенное поражение отделов ЖКТ животных, выполняли следующие процедуры. Во-первых, на основании предположения о гомогенном распределении РЧ в пищеварительном тракте и геометрии облучения (2л или 4л), с помощью разработанных нами компартментальных моделей [15] определяли величины средних поглощенных доз β -облучения поверхности слизистой оболочки отделов ЖКТ. Во-вторых, проводилась оценка поглощенных доз в областях наибольшего концентрирования РЧ на основании данных прямых измерений мощностей поглощенных доз на внутренней поверхности слизистой оболочки и результатов автордиографических исследований. Наряду с этим оценивались показатель неравномерности облучения слизистой оболочки (P_{max}/P_{min}) и максимально возможная кратность превышения средних уровней облучения ($P_{max}/P_{сред}$). На конечном этапе дозиметрические параметры сопоставляли с патологоанатомической картиной язвенно-некротических поражений слизистой оболочки с установлением дозовых диапазонов характерных для определенных поражений слизистой оболочки.

С использованием методики, представленной в [15], были проведены расчеты средних мощностей поглощенных доз β -излучения (выражение 1) на поверхности слизистой оболочки отделов ЖКТ крыс, морских свинок и свиней в предположении о гомогенном распределении РЧ в пищеварительном тракте.

$$\overline{P}_i(t) = 2,88 \cdot 10^{-5} \cdot C_i(t - \tau) \cdot \overline{E}_\beta(t) \cdot \eta(t), \quad (1)$$

где:

$\overline{P}_i(t)$ – средняя мощность поглощенной дозы β -излучения в i -м отделе ЖКТ животных ($i=1$ — желудок, $i=2$ — тонкий отдел кишечника, $i=3$ — толстый отдел кишечника), кГр/ч;

$2,88 \cdot 10^{-5}$ — коэффициент, учитывающий размерность и геометрию облучения. Принято, что β -облучение слизистой оболочки желудка и толстого отдела кишечника происходит в 2л- геометрии, а β -облучение тонкого отдела кишечника в 4л- геометрии;

$C_i(t-\tau) = q_i(t-\tau)/m_i$ — удельная массовая активность ПЯД в содержимом i -ого отдела ЖКТ, Бк/г;

τ — время задержки выведения РЧ из желудка свиней. При $t < \tau = 2$ ч $q_1(t-\tau) = q_0$ (однократно поступившая в желудок активность) и $q_2(t-\tau) = q_3(t-\tau) = 0$. (Для грызунов $\tau = 0$);

$\overline{E}_\beta(t)$ — средняя энергия β -излучения ПЯД, МэВ;

$\eta(t)$ — функция, учитывающая радиоактивный распад, отн. ед.

Расчет величин средних поглощенных дозы β -излучения осуществляли путем интегрирования выражения (1) по времени от 0 (момент однократного поступления РЧ) до некоторого значения времени t , характеризующего динамику формирования средних поглощенных доз.

Картину распределения поглощенных доз в желудке животных удалось получить экспериментальным путем при помощи методов термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) и автордиографии. Термолюминесцентные детекторы на основе порошкообразного и таблетированного фторида лития (LiF) использовали в экспериментах на поросятах для измерения мощностей поглощенных доз β -излучения на поверхности слизистой оболочки желудка. Для этой цели после умерщвления животного его желудок немедленно замораживали при помощи жидкого азота, чтобы минимизировать перераспределение РЧ в его содержимом. После полной заморозки желудка его стенку размораживали, отделяли от содержимого и помещали наборы ТЛД между стенкой и замороженным содержимым для экспонирования детекторов.

Метод автордиографии применялся в экспериментах на лабораторных крысах для установления качественной картины распределения инертных РЧ в содержимом их желудков. Для этого, как и в случае для поросят, желудки крыс вместе с содержимым замораживали при температуре -60 °С. После замораживания желудка крыс, разрезанные продольно на две равные части, накладывали в темной комнате на рентгеновскую пленку (РМ-1) и экспонировали 5–30 минут с последующим проявлением.

В процессе изучения биологического действия на организм животных труднорастворимых РЧ, инкорпорированных в пищеварительный тракт, определяли такие показатели как [7]: общее состояние экспериментальных животных (наличие подвижности, угнетенно-

Таблица 1. Оценка степени радиационно-индуцированного поражения пищеварительного тракта экспериментальных животных

Стадия	Клинические проявления
Начальная стадия развития язв	Слизистая оболочка гиперемирована с геморрагиями
Развитая язва	Края язвы приподняты, отечны, дно розовато-серого цвета, в отдельных случаях покрыто мягкой грязной, бесструктурной массой тканевого раствора
Прободная язва	Очаговый некроз с полным распадом не только слизистой, но и мышечной и серозной оболочек
Язва в стадии заживления	Края и дно язвы покрыты грануляциями ярко-красного цвета
Зажившая язва	Образование на месте язвы соединительно-тканного рубца

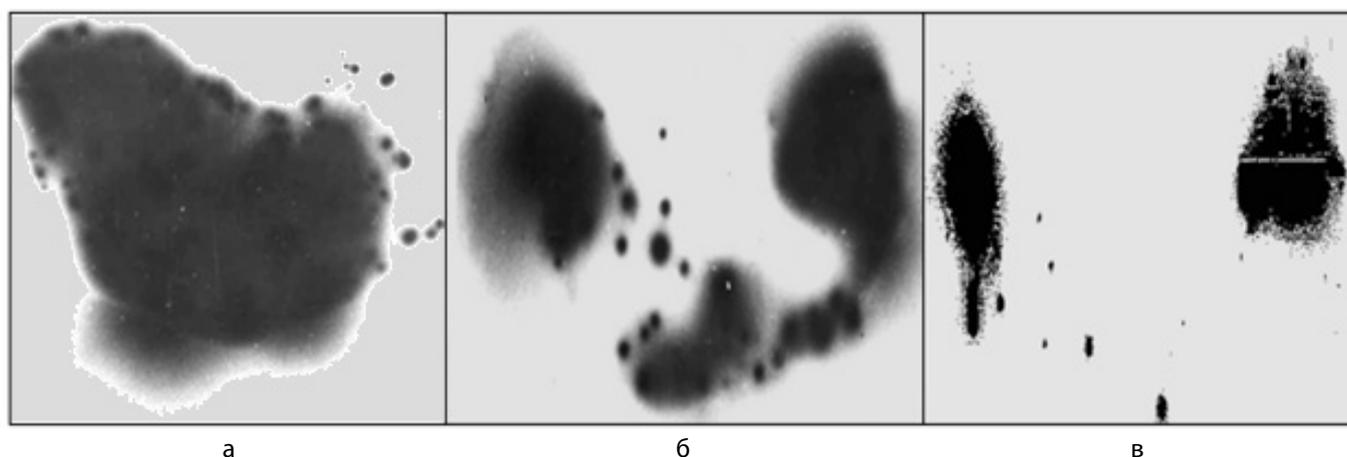


Рис. 1. Авторадиограммы желудков крыс через 1 (а), 3 (б) и 6 (в) часов после внутрижелудочного введения РЧ [17]

сти, возбужденности, агрессивности или пугливости); внешнее состояние шерстного покрова (наличие взъерошенности шерсти и очагов алопеции) и кожи (наличие кровоизлияний, отечности и т.п.); состояние видимых слизистых оболочек ротовой полости и глаз (наличие на слизистых бледности, покраснений, синюшности, набуханий, кровоизлияний или эрозий, а также наличие выделений и их характер); состояние органов дыхания, наличие и характер выделений из носа, наличие кашля; в фекалиях выявляли примеси скрытой крови. Клинические показатели проявления радиационного поражения, динамику изменения массы тела, выживаемость, гематологическую и патологоанатомическую картины у лабораторных грызунов исследовали после однократного перорального внутрижелудочного введения модельных РЧ с удельной активностью от 100 до 1850 МБк/кг массы тела [7], а у поросят после однократного перорального поступления с кормом РЧ с удельной активностью 370 и 740 МБк/кг массы поросенка [10]. Оценка процесса образования радиационных язвенных поражений осуществляли в начальный период их развития (2–5 сут.), в период яркого проявления клинических симптомов (10–15 сут.) и в течение

заживления язв (15–30 сут. для выживших животных). Для того, чтобы наиболее достоверно оценить каждый из периодов умерщвляли по 3–5 животных на каждый отдельно взятый период. Соотнесение стадий трансформации язвенной патологии с основными сопутствующими клиническими симптомами представлено в таблице 1.

Результаты исследований

Как уже было указано выше, величины поглощённых доз β -облучения поверхностного слоя слизистой оболочки отделов пищеварительного тракта определяли с использованием методики камерного (компарментального) анализа путем построения моделей транспорта частиц в ЖКТ животных в геометрии гомогенного распределения частиц в содержимом отделов. Данный подход наиболее широко используется в задачах, связанных с пероральной инкорпорацией в организм животных радиоактивных веществ в растворимом виде [16]. В случаях же, когда в организм животных пероральным путем попадают радионуклиды в виде труднорастворимых РЧ, их распределение в содер-

Таблица 2. Диапазоны мощностей поглощенных доз β -облучения слизистой оболочки желудка поросёнка, получившего однократно с кормом 370 МБк/кг «трехкомпонентных» ОРЧ

ΔP , сГр/ч	$P_{ср}$ сГр/ч	Количество заложённых детекторов	Облучаемая площадь стенки в%
6–25	13±5	12	15
26–44	31±4	36	46
45–63	51±6	20	25
64–82	75±8	6	8
83–100	92±12	2	3
101–120	110±14	2	3

жимом, строго говоря, не является равномерным [10]. Учитывая данное обстоятельство, следует отметить, что величины мощностей доз и поглощенных доз, полученные путем численного интегрирования выражения (1), соотносятся с реальной дозиметрической картиной с достаточной долей условности. В связи с вышеперечисленными обстоятельствами возникает необходимость в изучении неравномерности внутреннего облучения отделов ЖКТ и сравнения средних измеренных мощностей доз с величинами мощности поглощённой дозы, вычисленных с помощью уравнения (1). Экспериментальное подтверждение неравномерности распределения труднорастворимых РЧ в пищеварительном тракте было получено в опытах на крысах с использованием метода автордиографии. На рисунке 1 представлены проявленные автордиограммы желудков крыс через 1, 3 и 6 часов после инкорпорирования РЧ.

Из рисунка 1 видно, что по истечению 3-х часов (рисунок 1б) после введения РЧ первоначальное равномерное распределение РЧ в содержимом желудка (рисунок 1а) меняется на распределение со склонностью к накоплению РЧ в кардиальной (*pars cardiaca*) и пилорической (*pars pylorica*) частях желудка. По истечению 6-ти часов данная тенденция становится еще более заметной (рисунок 1в). Именно в кардиальной и пилорической частях желудка крыс были отмечены наиболее ярко выраженные язвенно-некротические поражения слизистой оболочки. К депонированию инертных РЧ в кардиальной части желудка, по всей видимости, проводит деятельность кольцевого гастроэзофагального сфинктера (*ostium cardiacum*), не позволяющего кормовой масса попасть обратно в пищевод. Другой сфинктер, который соединяет желудок с двенадцатиперстной кишкой, способствует удержанию частиц в пилорическом отделе желудка (в привратнике (*pylorus*)), обладающем наиболее глубокими желудочными ямками, по всей видимости, депонирующими РЧ. Еще одной причиной, по которой РЧ могут депонироваться на поверхности слизистой желудка считается процесс гравитационного осаждения силикатных РЧ поскольку их физическая плотность заметно превышает плотность химуса [18].

Оценку количественной картины неравномерности распределения сформированных мощностей доз β -излучения получили с помощью LiF детекторов, которые помещали под стенку предварительно замороженного желудка поросенка (таблица 2).

Из таблицы 2 видно, что мощность дозы, усредненная по всей поверхности слизистой оболочки желудка (т.е. по всем детекторам), составляет 37 ± 6 сГр/ч. Данное значение согласуется со значением, которое было получено расчетным путем для случая гомогенного распределения частиц в содержимом желудка и 2л-геометрии облучения (41,0 сГр/ч). Показатель неравномерности распределения измеренных мощностей поглощённых доз — (P_{max}/P_{min}) в данном случае достигает 20. Также из таблицы 2 можно заметить, что показатель кратности превышения максимальным значением среднего значения — $(P_{max}/P_{ср})$ достигает 3-х раз. Полученные экспериментальные результаты указывают на то, что ~70% площади внутренней поверхности слизистой оболочки желудка поросенка облучается средними дозами, а на ~13% приходятся максимальные доз, как раз на тех участках слизистой оболочки, где наблюдались наиболее существенные очаги язвенно-некротических поражений (кардиальная и пилорическая части).

Основываясь на результатах всестороннего анализа повреждений отделов пищеварительного тракта, развития и исхода радиационно-индуцированного поражения организма лабораторных грызунов В.А. Киршиным, В.А. Бударковым и А.С. Зенкиным, исходя из величин поступившей активности модельных РЧ, были выделены следующие ниже представленные 4 степени острого радиационного язвенного гастроэнтероколита [7].

Крайне тяжелая степень характеризовалась тем, что болезнь протекала очень быстро. Начальный период и разгар заболевания происходили практически одновременно. Очень быстро начинали проявляться первые признаки лучевого поражения, а именно крайне угнетенное общее состояние, минимизация двигательной активности, отсутствие реакций на внешние

Таблица 3. Степени проявления острого радиационного язвенного гастроэнтероколита в зависимости от величин поступивших активностей и поглощённых доз, сформированных в соответствующем отделе ЖКТ

Форма болезни	Удельная активность РЧ, МБк/кг	Вид	Поглощенная доза, Гр		
			Желудок	Тонкий кишечник	Толстый кишечник
Легкая	100–370	Крысы	1,9–7,0	2,5–9,4	3,8–14,1
		Морские свинки	3,5–12,9	0,3–1,1	1,6–5,8
	до 370	Свиньи	< 10,6	<10,3	<8,6
Средняя	370–1100	Крысы	7,0–20,9	9,4–27,9	14,1–41,8
		Морские свинки	12,9–38,5	1,1–3,4	5,8–17,0
	370	Свиньи	~ 10,6	~ 10,3	~ 8,6
Тяжелая	1100–1500	Крысы	20,9–28,5	27,9–38,0	41,8–57,0
		Морские свинки	38,5–52,5	3,4–4,7	17,0–23,2
	740	Свиньи	~21,2	~20,6	~17,2
Крайне тяжелая	>1500	Крысы	>28,5	>38,0	>57,0
		Морские свинки	>52,5	>4,7	>23,2
	>740	Свиньи	>21,2	>20,6	>17,2

раздражители и потеря аппетита. Отмечалось существенное снижение массы тела, взъерошенность шерстного покрова, приступы диареи с примесью крови в кале, воспаление и отек слизистой оболочки ануса. В ходе патологоанатомических исследований выявлялись признаки пневмонии, острого геморрагического гастроэнтероколита, а также дистрофические изменения почек, печени, атрофия селезенки. Летальные исходы наблюдались в 100%-х случаев. Крысы погибали через 4–6, морские свинки через 6–10, а поросята через 8–12 суток после первого поступления модельных РЧ. У крыс, погибавших раньше остальных экспериментальных животных, на слизистых оболочках отмечали наличие гиперемии и геморрагии, при этом серьезные изъязвления в ЖКТ, как правило, даже не успевали развиться. У морских свинок и поросят радиационно-индуцированные язвенно-некротические поражения слизистой оболочки ЖКТ отмечались всего через пару суток с момента инкорпорации РЧ.

Тяжелая степень заболевания протекает более замедленно по сравнению с крайне тяжелой степенью. Наблюдалось угнетение общего состояния, понижение аппетита, массы тела, адинамия, выпадение шерсти, учащение мочеиспускания, воспаления и отеки слизистой оболочки ануса, а также частые приступы диареи с примесью крови в кале. На начальном этапе развития болезни (на 2–5-е сутки) на слизистых оболочках желудка и толстого отдела кишечника обнаруживали гиперемированные участки. В период разгара заболевания (на 6–20-е сутки) на этих же участках слизистой оболочки проявлялись язвенно-некротические поражения. Для периода разгара заболевания характерно наличие дистрофических изменения почек, печени и незначительное уменьшение селезенки. Летальные

исходы у крыс наступали на 2-й, у морских свинок на 3–4-й, а у свиней на 4–5-й неделе после однократного поступления труднорастворимых РЧ. Показатель смертности варьировался от 40 до 80%).

Средняя степень заболевания характеризуется тем, что клиническая картина чаще всего проявляется в те же сроки, что и при тяжелой степени болезни. При этом отмечается большая часть симптомов свойственных тяжелой степени с той разницей, что развиваются они более медленно, а степень их выраженности значительно слабее. Гистологические исследования показывали, что слизистая оболочка истончена, слизистые железы атрофированы, а их клетки пикнотичны. Строма обеднена клеточными элементами. Смертность при средней степени варьировалась от 30 до 40%. По истечении 2-х (крысы) и 3-х (морские свинки) недель после инкорпорирования РЧ у выживших животных начинался период восстановления. Патологоанатомические исследования позволяли обнаружить признаки радиационного гастроэнтероколита с образованием язвенно-некротических очагов. У выживших животных места заживающих язвенных поражений были покрыты рубцовой тканью, как, например, у поросят, выживших спустя 2 месяца с момента поступления РЧ и умерщвленных на 62-е и 69-е сутки. В кишечнике также отмечались признаки восстановления слизистой оболочки, частичное восстановление покровного эпителия и постепенная регенерация стромы.

Легкая степень характеризовалась тем, что болезнь протекала без ярко выраженных клинических симптомов и существенных изменений масса тела с кратковременным снижением пищевой возбудимости и двигательной активности. При патологоанатомическом

вскрытии обнаруживали признаки острого гастрита (до 15–20 суток) в подавляющем большинстве случаев без образования тяжелых изъязвлений. Выживаемость животных составляла 100%.

После проведения оценки нижней границы средних поглощённых доз в желудке, было установлено, что средние дозы β -излучения, приводящие к возникновению язвенных поражений, составляют ~ 10 Гр у поросят, ~ 14 Гр у крыс и ~18 Гр у морских свинок. Полулетальные дозы за 30 дней — ($LD_{50/30}$) после однократного инкорпорирования РЧ для желудка морских свинок составляли ~45 Гр. Аналогичный показатель летальности, но за 60 дней — ($LD_{50/60}$) также для желудка морских свинок составил ~37 Гр. Полученные величины средних поглощённых доз соответствуют пероральному инкорпорированию модельных РЧ со следующими величинами активности, нормированными на единицу массы животных — 1326 МБк/кг (для оценки $LD_{50/30}$) и 1058 МБк/кг (для оценки $LD_{50/60}$). У поросят формирование средних поглощённых доз облучения ЖКТ ~10 Гр могло привести к летальному исходу. В таблице 3 приведены величины активностей и средних поглощённых доз, характерных для каждой из степеней проявления острого радиационного язвенного гастроэнтероколита.

На основании данных, приведенных в таблице 3, представляется возможным предложить следующую дозиметрическую шкалу степеней проявления острого радиационного язвенного гастроэнтероколита по диапазонам (или величинам в случае для свиней) средних поглощённых доз β -облучения поверхностного слоя слизистой оболочки критического отдела ЖКТ (желуд-

ка у морских свинок и свиней и толстого отдела кишечника у крыс): для легкой степени у крыс — от 4 до 14 Гр, у морских свинок — от 4 до 13 Гр, у поросят, по совокупности проанализированных признаков радиационного поражения, — от 1 до 5 Гр; для средней степени заболевания у крыс — от 14 до 42 Гр, у морских свинок — от 13 до 39 Гр, у поросят — от 5 до 11 Гр; для тяжелой степени у крыс — от 42 до 57 Гр, у морских свинок — от 39 до 53 Гр, у поросят — от 11 до 21 Гр; для крайне тяжелой степени у крыс — более 57 Гр, у морских свинок — более 53 Гр, у поросят — более 21 Гр. Вместе с этим величины локальных доз в местах очаговых язвенных поражений способны превышать средние значения до 3-х раз.

Заключение

Биологический эффект от инкорпорации в ЖКТ моногастричных животных труднорастворимых «горячих» РЧ проявляется развитием острого радиационного язвенного гастроэнтероколита, который представляет собой патологическое состояние, существенно отличающееся от описанной в литературе кишечной формы острой лучевой болезни (ОЛБ) наличием очаговых язвенных поражений пищеварительного тракта. В зависимости от величин сформированных поглощённых доз β -облучения поверхностного слоя слизистой оболочки отделов ЖКТ экспериментальных животных выделены 4 степени проявления острого радиационного язвенного гастроэнтероколита, ранжированные по диапазонам средних поглощённых доз облучения слизистой оболочки критического отдела ЖКТ, отличающиеся характером радиационных повреждений ЖКТ, развитием и исходом радиационного поражения организма животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Salbu, B. Biological relevance of hot particles ingested by domestic sheep / B. Salbu, T. Krekling and K. Hove // International Symposium on Environmental Impact of Radioactive Releases, Vienna: IAEA. — 1995. — P. 312–313.
2. Steinhäuser, G. Anthropogenic radioactive particles in the environment / G. Steinhäuser // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — 2018. — Vol. 318. — № 3. — P. 1629–1639.
3. Dale, P. Radioactive particles in dose assessments / P. Dale, I. Robertson, M. Toner // Journal of environmental radioactivity. — 2008. — Vol. 99. — № 10. — P. 1589–1595.
4. Radioactive particles in the Environment: Sources, Particle Characterization and Analytical Techniques // IAEA-TECDOC Vienna. — 2011. — Vol. 1663. — 77 p.
5. Анненков, Б.Н. Сельское хозяйство после крупных радиационных аварий / Б.Н. Анненков // Ростов-на-Дону: ЗАО Ростиздат. — 2010. — 284 с.
6. Kozmin, G.V. Environmental behaviour of radioactive particles: Transfer to animals / G.V. Kozmin, S. Fesenko, A.S. Snegirev, N.I. Sanzharova, Yu.A. Kurachenko // Journal of Environmental Radioactivity. — 2020. — Vol. 213. — 11 p.
7. Ветеринарная радиобиология / Сб. мат. конф. Под ред. В.А. Бударкова, О.Н. Карпова, А.А. Торубаровой // Покров: ВНИИВВиМ — 1983. — 135 с.
8. ICRP Publication 108: Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants // Ann. ICRP. — 2008. — Vol. 38. — № 4. — 251 p.
9. Приказ министерства здравоохранения СССР № 755 от 12 августа 1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» // МЗ СССР. — 1977. — 7 с.
10. Пантелеев, Л.И. Теоретические и экспериментальные разработки дозиметрических моделей сельскохозяйственных объектов при радиоактивном загрязнении территорий. / Л.И. Пантелеев, Б.Н. Анненков, И.А. Сарапульцев и др. // — Обнинск: ВНИИЭСР. — 1981. — 180 с.
11. Сарапульцев, И.А. Динамика транспорта оплавленных радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте крыс / И.А. Сарапульцев, Г.В. Козьмин и др. // В сб. Ветеринарная радиобиология. Под ред. В.А. Бударкова, О.Н. Карпова, А.А. Торубаровой. — Покров: ВНИИВВиМ. — 1983. — С. 9–11.

12. Сарапульцев, И.А. Транспорт оплавленных радиоактивных частиц и дозовые нагрузки в желудочно-кишечном тракте морских свинок при оральном поступлении «3-х компонентных» модельных частиц / И.А. Сарапульцев, Г.В. Козьмин, В.А. Бударков и др. // В сб. Ветеринарная радиобиология. Под ред. В.А. Бударкова, О.Н. Карпова, А.А. Торубаровой. — Покров: ВНИИВВиМ. — 1983. — С. 13–16.
13. Сарапульцев, И.А. Распределение поглощенных доз в желудочно-кишечном тракте свиней при поступлении с кормом оплавленных радиоактивных частиц / И.А. Сарапульцев, И.М. Расин, Г.В. Козьмин // В сб.: Проблемы животноводства в зоне следа наземного ядерного взрыва. Под общ. ред. Б.Н. Анненкова. — Обнинск: ВНИИСХР. — 1980. — С. 203–210.
14. Осанов, Д.П. Дозиметрия излучений инкорпорированных радиоактивных веществ. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Д.П. Осанов, И.А. Лихтарев — Москва: Атомиздат. — 1977. — 200 с.
15. Shapovalov, S. Radioactive particles: biokinetic transfer parameters in the git of monogastric animals / S. Shapovalov, G. Kozmin, E. Denisova, Y. Kurachenko, S. Fesenko, A. Zenkin // Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — P. 012025.
16. Osanov, D.P. Experimental validation of a dosimetric model of the gastrointestinal tract in cattle / D.P. Osanov, B.S. Prister, Y.P. Panova, G.G. Ryabov, N.I. Burov, A.I. Shaks // Health Physics. — 1974. Vol. 26. — P. 497–503.
17. Сарапульцев, И.А. Радиографическое исследование распределения оплавленных радиоактивных частиц в пищеварительном тракте крыс / И.А. Сарапульцев, Г.В. Козьмин, А.А. Торубарова, А.С. Зенкин // В сб. Ветеринарная радиобиология. Под ред. В.А. Бударкова, О.Н. Карпова, А.А. Торубаровой. — Покров: ВНИИВВиМ. — 1984. — С. 10–14.
18. Hoelzel, F. The rate of passage of inert materials through the digestive tract / F. Hoelzel // American Journal of Physiology. — 1930. — Vol. 92. — P. 466–497.

© Шаповалов Станислав Геннадьевич, Козьмин Геннадий Васильевич (girae70@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МИРОВЫЕ ПРАКТИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ВОД

GLOBAL PRACTICES OF USING BIG DATA ANALYSIS TECHNOLOGIES FOR MONITORING AND FORECASTING OCEAN WATER POLLUTION RISKS

**S. Afanasyev
D. Voronin
E. Kovrova
D. Rakov**

Summary. This article is devoted to the analysis of world practices of water quality control of the world ocean and forecasting of water pollution risks using big data analysis technologies. A review of Russian and foreign solutions in the field of monitoring the state of ocean waters using promising technologies is carried out. The inhibiting factors of the introduction of big data are described, and further prospects for the introduction and application of systems for the prevention and elimination of man-made accidents on the water are described. The work uses the results of the project "Intelligent analysis of big data in the tasks of protecting ecology and the environment", supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the Agreement of Lomonosov Moscow State University with the Project Support Fund of the National Technology Initiative dated December 15, 2021 No. 70–2021–00252.

Keywords: ecology, man-made disasters, sustainable development, big data, monitoring the state of the ocean.

Афанасьев Сергей Дмитриевич

Кандидат юридических наук, ведущий специалист,
Центр хранения и анализа больших данных, МГУ имени
М.В. Ломоносова, Москва
sergei.afanasev@digital.msu.ru

Воронин Тимофей Валерьевич

Специалист, Центр хранения и анализа больших
данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
voronin@digital.msu.ru

Коврова Екатерина Сергеевна

Ведущий специалист, Центр хранения и анализа
больших данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
lubomirova.ek@digital.msu.ru

Раков Дмитрий Александрович

Ведущий специалист, Центр хранения и анализа
больших данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
rakov.d@digital.msu.ru

Аннотация. Настоящая статья посвящена анализу мировых практик контроля качества воды мирового океана и прогнозирования рисков загрязнения вод с применением технологий анализа больших данных. Проведен обзор российских и зарубежных решений в области мониторинга состояния океанических вод с использованием перспективных технологий. Описаны тормозящие факторы внедрения больших данных, а также описаны дальнейшие перспективы внедрения и применения систем предотвращения и ликвидации техногенных аварий на воде. В работе использованы результаты проекта «Интеллектуальный анализ больших данных в задачах охраны экологии и окружающей среды», поддерживаемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по Договору МГУ имени М.В. Ломоносова с Фондом поддержки проектов Национальной технологической инициативы от 15.12.2021 г. № 70–2021–00252.

Ключевые слова: экология, техногенные катастрофы, устойчивое развитие, большие данные, мониторинг состояния океана.

В настоящее время мировое сообщество сталкивается с большим количеством глобальных вызовов, среди которых загрязнение вод мирового океана. В качестве мер по борьбе с загрязнением используются различные способы: использование более безопасных для окружающей среды реагентов и химикатов, внедрение дополнительных технологий очистки и переработки отходов производства. На современном этапе развития науки и производства особое внимание специалисты уделяют технологиям анализа больших данных в качестве меры контроля текущего уровня

загрязнения вод мирового океана и предотвращения увеличения масштабов данной глобальной проблемы.

Актуальность использования технологий, связанных с большими данными, в сфере оценки рисков загрязнения вод мирового океана обуславливается рядом факторов.

Во-первых, проблема загрязнения воды приняла масштаб глобальной и угрожает всему мировому сообществу, в первую очередь, беднейшим странам

мира и прибрежным странам, специализирующимся на производстве морепродуктов. Риск возникновения вспышек инфекционных заболеваний часто становится причиной уничтожения крупных партий готовой к экспорту морепродукции, выловленной в загрязненных водах, что приводит к нарушению цепочек поставок и ужесточает проблему глобального голода в ряде регионов мира, среди которых Азия, Африка и Латинская Америка.

Во-вторых, развитие науки позволяет использовать различные технологии для обработки больших объемов данных и информации, позволяющие осуществлять мониторинг текущего состояния качества воды в мировом океане с целью предотвращения сокращения биоразнообразия флоры и фауны различных водоемов нашей планеты.

В-третьих, автоматизация процесса мониторинга состояния воды позволит перераспределить усилия специалистов, направив их на решение других вызовов современного мира, включая борьбу с повышением уровня вод мирового океана, неравномерном развитии регионов мира и глобальным терроризмом.

Целью данного исследования является изучение результатов применения технологий анализа больших данных с целью контроля рисков загрязнения вод мирового океана и оценка дальнейших перспектив их применения.

Термин большие данные (Big data) появился в 2008 году, на страницах журнала «Nature» [1]. Под данным термином принято подразумевать большие объемы информации, для обработки которых необходимы инновационные методы инструменты, например, современные суперкомпьютеры. Большими данным принято считать те данные, которые отвечают требованиям скорости (непрерывное поступление из ряда источников), объема и разнообразия (различные типы). Основными задачами в сфере больших данных являются: хранение и управление, структурирование, прогнозирование. Традиционные сферы применения технологий хранения и анализа больших данных — государственное управление, интернет вещей, включая данные с «умных» устройств и датчиков слежения, банковская сфера и промышленность [2].

Развитие науки и актуализации проблемы загрязнения мировых вод стала причиной внедрения технологий анализа больших данных в системы мониторинга состояния мирового океана.

Крупнейшей системой мониторинга является Глобальная система наблюдения за океаном (ГСНО),

созданная в 1991 году Межправительственной океанографической комиссией (МОК), органом ЮНЕСКО [3]. Задачами данной системы являются разработка инструментов и технологий наблюдений, информационных систем контроля состояния воды. ГСНО также занимается анализом состояния мирового океана и прогнозированием дальнейших изменений. Система состоит из сети буев «Арго», морских судов, спутников и центров анализа данных.

«Арго» — проект глобальной сети океанографических станций, состоящей из почти 4000 дрейфующих буев, использующихся для контроля уровня температуры, солености и химического состава воды и 4 метеорологических спутников. Буи, также называемые поплавкам, дрейфуют на глубине 1000–2000 метров и на уровне поверхности воды, меняя свое положение каждые 10 дней [4]. С 2014 года началось тестирование использования большего количества датчиков и увеличение глубины погружения буев, которое позволяет расширить возможности их применения с целью изучения уровня загрязнения океана в различных регионах мира [5]. Передача данных в центры обработки и анализа информации осуществляется посредством спутников «Арго».

Говоря о влиянии данного проекта на развитие современной науки и проводимых исследований, необходимо отметить использование данных, полученных «Арго», в научных публикациях. В период с запуска проекта по 2018 год авторы более 3000 статей о климатических изменениях, состоянии океана и влиянии океанических изменений на биосферу, использовали данные, полученные системой «Арго» [6].

Необходимо отметить, что контроль группировки спутников и флота поплавков, а также обработка получаемой информации для ее визуализации и публикации были бы невозможны без использования технологий анализа больших данных, включая интеграцию, интеллектуальный и статистический анализ полученной информации. Данные технологии позволяют оперативно обрабатывать огромное количество входящей информации, используя вычислительные мощности суперкомпьютеров, для ее передачи исследователям состояния океана.

Использование технологий анализа больших данных также активно используется нефтегазовыми компаниями с целью контроля утечек углеводородов, результатами которых являются загрязнение слоев почвы и систем водоемов. Утечка газа из газодобывающих платформ или газопроводов в воде приводит к высвобождению метана, который уничтожает флору и фауну на сотнях километров вокруг места аварии,

а также приводит к вынужденной миграции обитателей океана [7]. Разливы нефти также угрожают обитателям мирового океана и нарушают функционирование рыбного промысла не только в зоне аварии, но и далеко за ее пределами, так как нефтяные пятна перекрывают доступ кислорода под поверхность воды, приводя к гибели или миграции животных, а также приводят в негодность оборудование, используемое для ловли или разведения промысловых видов рыбы [8]. Одной из причин значительного количества аварий, последствиями которых стали разливы нефти в воды мирового океана, являлся человеческий фактор, выраженный в ошибочных расчетах или неверных решениях персонала. К таким авариям можно отнести крушение нефтяного танкера в порту Тхэнан, в Южной Корее, в 2007 году, взрыв нефтяной платформы «Deerwater Horizon» в 2010 году и разлив нефти с японского судна «MV Wakashio» в 2020 году. В результате данных аварий погибло большое количество морских животных, включая черепах, рыб и дельфинов, различных видов птиц, временно был запрещен рыбный промысел в районах аварий, что стало причиной значительных экономических убытков.

Одним из эффективных инструментов предотвращения техногенных аварий, а также минимизации рисков при их возникновении является использование технологий анализа больших данных. Данные технологии используются для решения нескольких задач.

1. Мониторинг состояния скважин и систем трубопроводов используется с целью предотвращения возникновения аварий и минимизации ущерба окружающей среде в случае разлива нефти или утечки газа. Примером такой технологии является система распределенного акустического мониторинга (DAS), продукт британских компаний «OptaSense» и «Optilian», которая позволяет в автономном режиме контролировать целостность системы нефте- и газопроводов с целью предотвращения их разгерметизации и возникновения утечек [9]. Данная система используется в Трансанатолийском газопроводе, проходящим от азербайджанского газового месторождения Шах-Дениз до греческо-турецкой границы через территорию Грузии и Турции [10]. Инновационным решением в сфере мониторинга целостности трубопроводов является использование беспилотных летальных аппаратов, передающих информацию о визуальном состоянии конструкций в центры анализа данных. Такую систему контроля использует ПАО «Лукойл» для минимизации рисков возникновения аварий на нефтепроводах [11].
2. Навигационные системы, включающие в себя обновляемые спутниковые данные и совре-

менное программное обеспечение, позволяют осуществлять безопасную навигацию танкеров, перевозящих сырую нефть и сжиженный природный газ с целью предотвращения столкновений судов или захождения на мель. Примерами таких навигационных систем могут служить решения финской компании «Wärtsilä Oyj Abp», специализирующейся на производстве морского и энергетического оборудования. Системы продвинутого планирования маршрута и спутниковой связи будут использоваться на судах-газовозах арктического класса в рамках реализации проекта «Арктик СПГ-2» компании «Новатэк» [12].

3. Использование спутниковых систем мониторинга последствий техногенных аварий, включая разливы нефти в мировом океане, позволяет оценить масштаб происшествия, выявить причину, а также спрогнозировать направление дрейфа нефтяного пятна. Использование технологий анализа больших данных позволяет более оперативно и точно оценить последствия нефтяного разлива, а также предпринять меры по минимизации дальнейших рисков, включая гибель океанической и морской флоры и фауны. Примером использования данных технологий может служить проект, реализованный ООО «Геопро-странственное агентство Иннотер» в 2020 году, в рамках которого был проведен мониторинг нефтяных загрязнений Лионского залива и были установлены причины их возникновения [13]. Такие страны, как США и Канада активно используют спутниковые данные для выявления разливов нефти в прибрежных водах. Обработка спутниковых данных происходит в автоматическом режиме и при выявлении признаков загрязнения, на место предполагаемого разлива направляется самолет береговых служб с целью уточнения деталей происшествия. Программа североамериканского спутникового мониторинга (the North American satellite tracking of pollution program) была создана в 2018 году в рамках совместных усилий американского Национального управления океанических и атмосферных исследований и Министерства окружающей среды Канады [14].

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время демонстрируется весьма эффективное использование технологий анализа больших данных с целью мониторинга состояния океанических вод. Высокая скорость анализа больших объемов информации позволяет в автоматизированном режиме осуществлять контроль состояния воды мирового океана, а также своевременно предотвращать возникновение аварий-

ных ситуаций. Несмотря на эффективность использования технологий анализа больших данных, в настоящее время существует ряд факторов, замедляющих процесс внедрения больших данных в системы мониторинга.

Во-первых, высокая стоимость внедрения технологий анализа больших данных затрудняет их использование в беднейших странах мира, которые наиболее уязвимы перед последствиями загрязнения вод мирового океана [15].

Во-вторых, использование спутниковых систем мониторинга может осложняться отсутствием необходимой для анализа снимков аппаратуры и инфраструктуры, что приводит к необходимости использования более простых и менее эффективных методов мониторинга качества воды.

Кроме того, бюрократические процедуры, являющиеся неотъемлемой частью заключения многосторонних соглашений и их дальнейшей реализации, часто становятся преградой на пути модернизации систем контроля качества воды. Примером может служить процесс принятия Дохийской поправки к Киотскому протоколу, продлевающей действие соглашения до 2020 года. Процесс принятия поправки начался в 2012 году, однако был завершён лишь в 2020 году, когда необходимое количество стран — 144, ратифицировали данную поправку [16]. Поправка вступила в силу 31 декабря 2020 года.

Говоря о дальнейших перспективах внедрения технологий больших данных в системы мониторинга загрязнения океанических вод, важно подчеркнуть их высокую эффективность и возможность автономной работы, что позволяет использовать их для анализа больших объемов постоянно поступающей информации без участия человека. Для дальнейшего внедрения

новых технологий в сферу прогнозирования рисков загрязнения океанических вод необходимо предпринять следующие меры.

1. Увеличить меры государственной поддержки центров хранения анализа больших данных с целью разработки перспективных методов мониторинга качества океанических вод и способов предотвращения техногенных аварий, включая утечки газа и разливы нефти.
2. Увеличить как государственные, так и частные инвестиции, в проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере технологий анализа больших данных, что позволит разработать перспективные методы контроля состояния океанических вод и локализации техногенных аварий на воде.
3. Оказывать всесторонние меры поддержки беднейшим странам мира, необходимые для внедрения новых технологий в процессы ликвидации загрязнений прибрежных вод и предотвращения их появления. Риски возникновения голода и усиления экологических проблем делают такие страны наиболее уязвимыми перед загрязнением мирового океана.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы Центров компетенций Национальной технологической инициативы на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (договор о предоставлении средств юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю на безвозмездной и безвозвратной основе в форме гранта, источником финансового обеспечения которых полностью или частично является субсидия, предоставленная из федерального бюджета № 70–2021–00252 от 15.12.2021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Клейменова Л., Зуйкова А. Что такое Big Data и почему их называют «новой нефтью» // РБК. — 2021. 2 марта. [Электронный ресурс] URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/5d6c020b9a7947a740fea65c> (дата обращения: 26.11.2022)
2. Подольских А. Big Data: как применять и анализировать большие данные? // Комсомольская правда. — 2022. 20 октября. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kp.ru/guide/analiz-bol-shikh-dannykh.html> (дата обращения: 26.11.2022)
3. Мониторинг состояния океана // официальный сайт ЮНЕСКО. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.unesco.org/themes/monitoring-sostoyaniya-okeana> (дата обращения: 26.11.2022)
4. Argo international project home page. [Электронный ресурс] URL: http://www.argo.net/index_flash.html (дата обращения: 27.11.2022)
5. Международный проект Argo отмечает 20-летие // официальный сайт Гидрометцентра России. — 2019. 9 января. [Электронный ресурс] URL: <https://meteoinfo.ru/novosti/99-pogoda-v-mire/15755-mezhdunarodnyj-proekt-argo-otmechaet-20-letie> (дата обращения: 26.11.2022)
6. Roemmich D, Alford MH, Claustre H, Johnson K, King B, Moum J, Oke P et al. On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array. — 2019. — Front. Mar. Sci. 6:439. doi: 10.3389/fmars.2019.00439
7. Чем опасны утечки на газопроводе «Северный поток» // +1 (Плюс один). — 2022. 29 сентября. [Электронный ресурс] URL: <https://plus-one.ru/ecology/2022/09/29/chem-opasny-utechki-na-gazoprovode-severnyy-potok> (дата обращения: 25.11.2022)

8. Последствия нефтяного загрязнения для рыбного промысла // ИТОПФ. [Электронный ресурс] URL: https://www.ospri.online/site/assets/files/1153/tip11_ru_effectsofoilpollutiononfisheriesandmariculture.pdf (дата обращения: 24.11.2022)
9. Британская OptaSense внедрила новую технологию мониторинга скважин и трубопроводов // тэкто://блог. — 2015. 30 апреля. [Электронный ресурс] URL: <https://teknoblog.ru/2015/04/30/38372> (дата обращения: 25.11.2022)
10. OptaSense и Optilan займются внедрением системы распределенного акустического мониторинга — DAS в рамках проекта МГП TANAP // Портал Neftegaz.ru. — 2016. 8 июня. [Электронный ресурс] URL: <https://neftegaz.ru/news/Oborudovanie/219659-optasense-i-optilan-zaumutsya-vnedreniem-sistemy-raspredelennogo-akusticheskogo-monitoringa-das-v-ra/> (дата обращения: 26.11.2022)
11. Предотвращение и реагирование в чрезвычайных ситуациях // официальный сайт ПАО «Лукойл». [Электронный ресурс] URL: <https://lukoil.ru/Sustainability/Safety/EmergencyPreventionAndResponse> (дата обращения: 26.11.2022)
12. Wärtsilä поставит системы инертного газа и навигационные системы для шести танкеров-газовозов арктического класса// PortNews. — 2021. 1 июня. [Электронный ресурс] URL: <https://portnews.ru/news/313568/> (дата обращения: 26.11.2022)
13. Экологический мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности в Лионском заливе // официальный сайт ООО «ГА Иннотер». [Электронный ресурс] URL: <https://innoter.com/projects/monitoring-neftyanykh-zagryazneniy-morskoj-poverkhnosti-v-lionskom-zalive/> (дата обращения: 27.11.2022)
14. The North American Satellite Tracking of Pollution (NASTOP) Program: A Canada-U.S. Collaborative Effort for Marine Oil Spill Detection and Monitoring Capabilities // blog of Office of Response and Restoration. — 2019. 5 January. [Электронный ресурс] URL: <https://blog.response.restoration.noaa.gov/north-american-satellite-tracking-pollution-nastop-program-canada-us-collaborative-effort-marine> (дата обращения: 27.11.2022)
15. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. 2007. Water for food, Water for life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute
16. Ратификация многостороннего соглашения по климату способствует выполнению обязательств и борьбе с изменением климата // United Nations Climate Change. — 2020. 3 октября. [Электронный ресурс] URL: <https://unfccc.int/ru/news/ratifikaciya-mnogostoronnego-soglasheniya-po-klimatu-sposobstvuet-vypolneniyu-obyazatelstv-i-borbe-s> (дата обращения: 27.11.2022)

© Афанасьев Сергей Дмитриевич (sergei.afanasev@digital.msu.ru), Воронин Тимофей Валерьевич (voronin@digital.msu.ru),
Коврова Екатерина Сергеевна (lubomirova.ek@digital.msu.ru), Раков Дмитрий Александрович (rakov.d@digital.msu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИОДОВ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ИХ РАБОТЕ ОТ СЕТЕВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ЗАДАННОМ ТОКЕ НАГРУЗКИ

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF DIODES OF RECTIFICATION CIRCUITS WHEN THEIR OPERATION FROM A NETWORK TRANSFORMER AT A GIVEN LOAD CURRENT

**V. Vorzhev
D. Trints
K. Kalmykova
D. Romanov**

Summary. The article considers the possibility of measuring the parameters of rectifier circuit diodes during their operation from a network transformer loaded with active resistance, the value of which corresponds to a given (nominal) load current for the rectifier circuit under study, which makes it possible to obtain a device for measuring the parameters of rectifier circuit diodes when they are used in typical power supplies. The paper presents a mathematical justification for the possibility of measuring the parameters of diodes by isolating the fundamental harmonic of the variable voltage component. On the basis of the proposed mathematical model, an electrical block diagram of the device is obtained, which is capable of providing the correct conditions for measuring the above-mentioned quantities. The adequacy of the obtained results was verified using the Mathcad software package, as well as electronic models of the main units of the device. The results obtained in the work can be used to design a device for measuring the parameters of diodes in rectifier circuits, as well as to diagnose standard blocks and assemblies of industrial electronics power supplies.

Keywords: testing of blocks and assemblies of radio-electronic equipment, rectifier diodes, rectifier circuits based on diodes, determination of diode parameters.

Воржев Владимир Борисович

К.ф.-м.н, доцент, Донской Государственный
Технический Университет
caroling@mail.ru

Тринц Дмитрий Викторович

Ст. преподаватель, Донской Государственный
Технический Университет

Калмыкова Ксения Федоровна

Ассистент, Донской Государственный Технический
Университет

Романов Дмитрий Леонидович

Аспирант, Донской Государственный Технический
Университет

Аннотация. В статье рассмотрена возможность измерения параметров диодов выпрямительных схем при их работе от сетевого трансформатора, нагруженного на активное сопротивление, величина которого соответствует заданному (номинальному) току нагрузки для исследуемой выпрямительной схемы, что создает возможность для получения устройства измерения параметров диодов выпрямительных схем при их использовании в типовых источниках электропитания. В работе приведено математическое обоснование возможности измерения параметров диодов при помощи выделения основной гармоники переменной составляющей напряжения. На основании предложенной математической модели получена электрическая структурная схема устройства, способного обеспечить корректные условия измерения вышеупомянутых величин. Адекватность полученных результатов проверена при помощи программного пакета Mathcad, а также — электронных макетов основных блоков устройства. Полученные в работе результаты могут быть использованы для проектирования устройства измерения параметров диодов выпрямительных схем, а также, — для диагностики типовых блоков и узлов источников электропитания промышленной электроники.

Ключевые слова: испытания блоков и узлов радиоэлектронной аппаратуры, выпрямительные диоды, выпрямительные схемы на диодах, определение параметров диодов.

Введение

Испытания компонентов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является важной частью технологического процесса создания радиоэлектронных устройств, способных работать в заданных электрических режимах (при соответствующем обслуживании) в заявленные производителем сроки с минимальной вероятностью выхода из строя составляющих его бло-

ков и узлов. По этой причине разработка новых, научно обоснованных способов испытания радиоэлектронной аппаратуры и измерения параметров, составляющих ее, блоков и узлов, является актуальной задачей современной электроники и радиотехники [1], [2], [3].

Наряду с этим, уровень развития вычислительных средств позволяет активно привлекать для решения подобных задач специальные программные пакеты,

сделавшиеся в настоящее время инструментарием не только научных сотрудников, но и значительной части инженеров, работающих в данной области. Это позволяет использовать методики, основанные на непосредственном применении этих программных пакетов, в условиях производственного процесса регулировки, наладки и испытаний устройств РЭА. Применение таких методов позволяет получать новые способы испытаний и диагностики компонентов РЭА, расширяя, тем самым, номенклатуру измерительных устройств и расширяя границы их применимости [4–8].

Все вышесказанное обосновывает актуальность настоящей статьи, представляющей способ измерения параметров диодов выпрямительных схем при их работе от сетевого трансформатора, при номинальном токе нагрузки. Достоинством этой измерительной схемы является то, что электрическое состояние диодов в ней соответствует их штатному режиму работы в составе вторичных источников электропитания, что позволяет,— помимо вышеупомянутых измерений,— осуществить проверку других параметров (таких, как предельно допустимый прямой ток, предельно допустимое обратное напряжение и др.).

1. Математическое описание работы построено в предположении линеаризованной модели диодов, согласно которой, электрическое состояние диодов может быть описано, с достаточной для инженерных расчетов точностью, двумя параметрами: напряжением отпираания U_d и динамическим сопротивлением R_d , (определяемыми для всей выпрямительной схемы). Как известно, такое представление весьма оправдано для диодов средней и большой мощности, работающих при достаточно больших амплитудах напряжения, соответствующих выпрямительному режиму.

Рассмотрим математическое описание процесса на примере мостовой схемы выпрямления, которое может быть применено и для любой другой выпрямительной схемы.

Пусть, пульсирующее напряжение на вторичной обмотке трансформатора для всех четных гармоник представлено разложением Фурье:

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=2}^{2n} U_{m,k} \cos(k\omega t). \tag{1.1}$$

Поскольку используемая в работе линеаризованная модель диодов предполагает их мгновенное отпирание при выполнении условия

$$u(t) > U_d, \tag{1.2}$$

то напряжение на вторичной обмотке будет присутствовать в интервалы времени, определяемые выражением:

$$-\theta < \omega t < \theta, \tag{1.3}$$

где угол отпираания диодов θ определяется по формуле:

$$\cos(\theta) = \frac{U_d}{U_m}, \tag{1.4}$$

где U_m — амплитуда напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Тогда, постоянная составляющая напряжения на вторичной обмотке трансформатора может быть определена по формуле [9]:

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\theta}^{\theta} (U_m \cos(\omega t) - U_d) d\omega t. \tag{1.5}$$

Производя алгебраические преобразования, получим:

$$U_0 = \frac{2}{\pi} (U_m \sin(\theta) - U_d \theta).$$

Учитывая соотношение (1.4),—

$$U_0 = \frac{2U_m}{\pi} (\sin(\theta) - \theta \cos(\theta)). \tag{1.6}$$

Амплитуды переменных составляющих четных гармоник напряжения на вторичной обмотке трансформатора могут быть определены следующим образом [9]:

$$U_{m,k} = \frac{2}{\pi} \int_{-\theta}^{\theta} (U_m \cos(\omega t) - U_d) \cos(k\omega t) d\omega t. \tag{1.7}$$

Производя алгебраические преобразования, с учетом выражения (1.4), получим:

$$U_{m,k} = \frac{2U_m}{\pi} \left(\frac{\sin((k-1)\theta)}{k-1} + \frac{\sin((k+1)\theta)}{k+1} - \frac{2\sin(k\theta)}{k} \cos(\theta) \right). \tag{1.8}$$

Рассмотрим воздействие на исследуемую цепь периодического сигнала, заданного выражением (1.1),

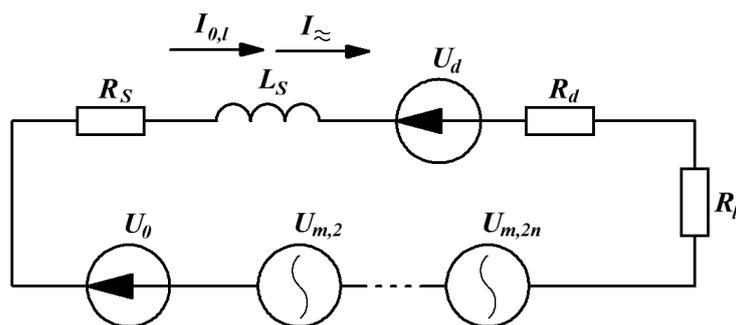


Рис. 1. Схема замещения исследуемой цепи

для которого величины U_0 и U_m, k определяются выражениями (1.6) и (1.8) соответственно. Схема замещения цепи, соответствующая приведенным выше рассуждениям, приведена на рис. 1.

Здесь, величины R_s и L_s представляют собой параметры внутреннего сопротивления сетевого трансформатора, которое, как известно, оказывает существенное влияние на электрическое состояние цепи нагрузки при условии ее работы на номинальном токе. Величины R_s и L_s могут быть определены экспериментально (при помощи опытов холостого хода и короткого замыкания), а также — при помощи оценочных формул, приведенных в соответствующих источниках [10].

Произведем решение электрической цепи, изображенной на рис. 1, символическим методом.

Постоянная составляющая напряжения на нагрузке:

$$U_{0,l} = \frac{U_0 R_l}{R_s + R_d + R_l}. \quad (1.9)$$

Переменная составляющая напряжения на нагрузке:

$$U_{\approx} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{k=2}^{2n} \frac{U_{m,k}^2 R_l^2}{(r_s + r_d + R_H)^2 + (k\omega L_s)^2}}. \quad (1.10)$$

Система нелинейных уравнений (1.9) и (1.10) позволяет определить угол отпирания θ , определяющий, как напряжение отпирания диодов U_d , так и динамическое сопротивление диодов выпрямительной схемы R_d при экспериментально измеренных величинах постоянной $U_{0,l}$ и переменной U_{\approx} составляющих напряжения на нагрузке.

Решая эту систему уравнений методом подстановки, получим:

$$R_s + R_d + R_l = \frac{U_0}{I_{0,l}}, \quad (1.11)$$

где $I_{0,l}$ — постоянная составляющая тока нагрузки.

Подставим выражение (1.11) в уравнение (1.10):

$$U_{\approx} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{k=2}^{2n} \frac{U_{m,k}^2 R_l^2}{\left(\frac{U_0}{I_{0,l}}\right)^2 + (k\omega L_s)^2}};$$

или, в более удобной для расчетов форме —

$$2U_{\approx}^2 = \sum_{k=2}^{2n} \frac{U_{m,k}^2 R_l^2}{\left(\frac{U_0}{I_{0,l}}\right)^2 + (k\omega L_s)^2}. \quad (1.12)$$

Нелинейное уравнение (1.12) показывает возможность экспериментального определения величины угла отпирания θ , поскольку U_0 и U_m, k , согласно (1.6) и (1.8), являются функциями одной переменной θ .

Однако поиск решения уравнения (1.12) затруднен из-за наличия значительного количества слагаемых, формирующих величину действующего значения напряжения U_{\approx} и требует для его реализации применения микроконтроллера. Значительно упростить поиск решения, не снижая точности вычислений, можно, выделив и измерив действующее значение напряжения основной (в данном случае 2-й) гармоники.

В этом случае, уравнение (1.12) принимает более простой вид:

$$2U_{2,l}^2 = \frac{U_{m,2}^2 R_l^2}{\left(\frac{U_0}{I_{0,l}}\right)^2 + (2\omega L_s)^2}. \quad (1.13)$$

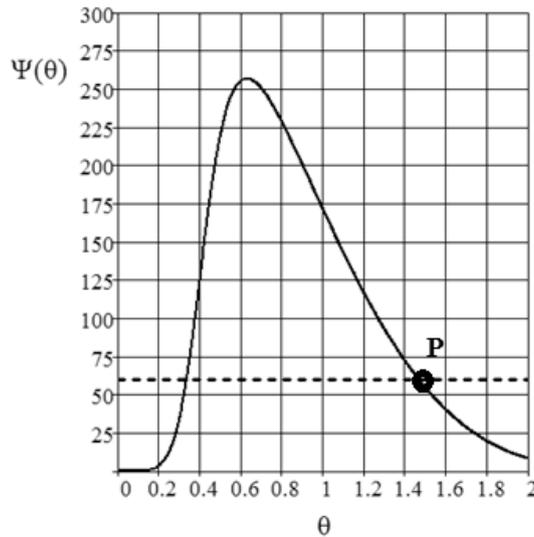


Рис. 2. Результат графического решения нелинейного уравнения (1.14), определяющего угол отпираания θ при заданных параметрах цепи

Тогда, учитывая функциональные зависимости (1.6) и (1.8), окончательно, получим:

$$2U_{2,l}^2 = \frac{\left(\sin(\theta) + \frac{\sin(3\theta)}{3} - \sin(2\theta)\cos(\theta) \right)^2 R_l^2}{\frac{(\sin(\theta) - \theta\cos(\theta))^2}{I_{0,l}^2} + \frac{\pi^2(2\omega L_s)^2}{4U_m^2}}. \quad (1.14)$$

Нелинейное уравнение (1.14) показывает, что для реализации методики определения параметров диодного выпрямителя следует произвести измерение следующих величин: постоянных составляющих тока нагрузки $I_{0,l}$ и напряжения на нагрузке $U_{0,l}$ и действующего значения основной гармоники пульсирующего напряжения на нагрузке $U_{2,l}$. При этом амплитуда напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_m , активное и индуктивное сопротивления трансформатора R_s и X_s , а также, сопротивление нагрузки (соответствующее номинальному току нагрузки) считаются известными.

После отыскания решения для угла отпираания θ , динамическое сопротивление диодов выпрямительной схемы, согласно (1.11), определяется следующим образом:

$$R_d = \frac{U_0}{I_{0,l}} - R_s - R_l. \quad (1.15)$$

На рис. 2 показан результат решения нелинейного уравнения (1.14) для цепи с выпрямительными диода-

ми типа ВУМ10–1000, включенными в мостовую схему, со следующими параметрами: действующее значение напряжения вторичной обмотки $U = 15$ В; параметры внутреннего сопротивления трансформатора: $R_s = 1,25$ Ом; $L_s = 0,62$ мГн; ток нагрузки $I_{0,l} = 1$ А.

Как видно из рис. 2, уравнение (1.14) содержит два решения для угла отпираания θ . Однако первое (при $\theta \approx 0,34$) не соответствует физическому смыслу задачи, поскольку, согласно принятой модели, величина θ должна быть ненамного меньше $\pi/2$. Этому условию удовлетворяет второе решение при $\theta \approx 1,47$ (точка P на рис. 2).

В результате решения нелинейного уравнения (1.14) были получены следующие параметры диодов выпрямительной схемы: напряжение отпираания $U_d = 2,135$ В; динамическое сопротивление $R_d = 0,187$ Ом. Полученные результаты представляются вполне достоверными, если учесть особенность мостовой выпрямительной схемы, у которой для каждого полупериода сетевого напряжения в открытом состоянии находятся два диода.

2. Электрическая структурная схема измерительного устройства представлена на рис. 3. В схеме учтено, что, в отличие от постоянной составляющей напряжения на нагрузке $U_{0,l}$, измеряемой непосредственно на клеммах нагрузки,— измерение действующего значения переменной составляющей основной гармоники $U_{2,l}$ производится преобразованием электрического сигнала, что обуславливает необходимость калибровки измерительного устройства для выбранного типа трансформатора и заданного тока нагрузки.

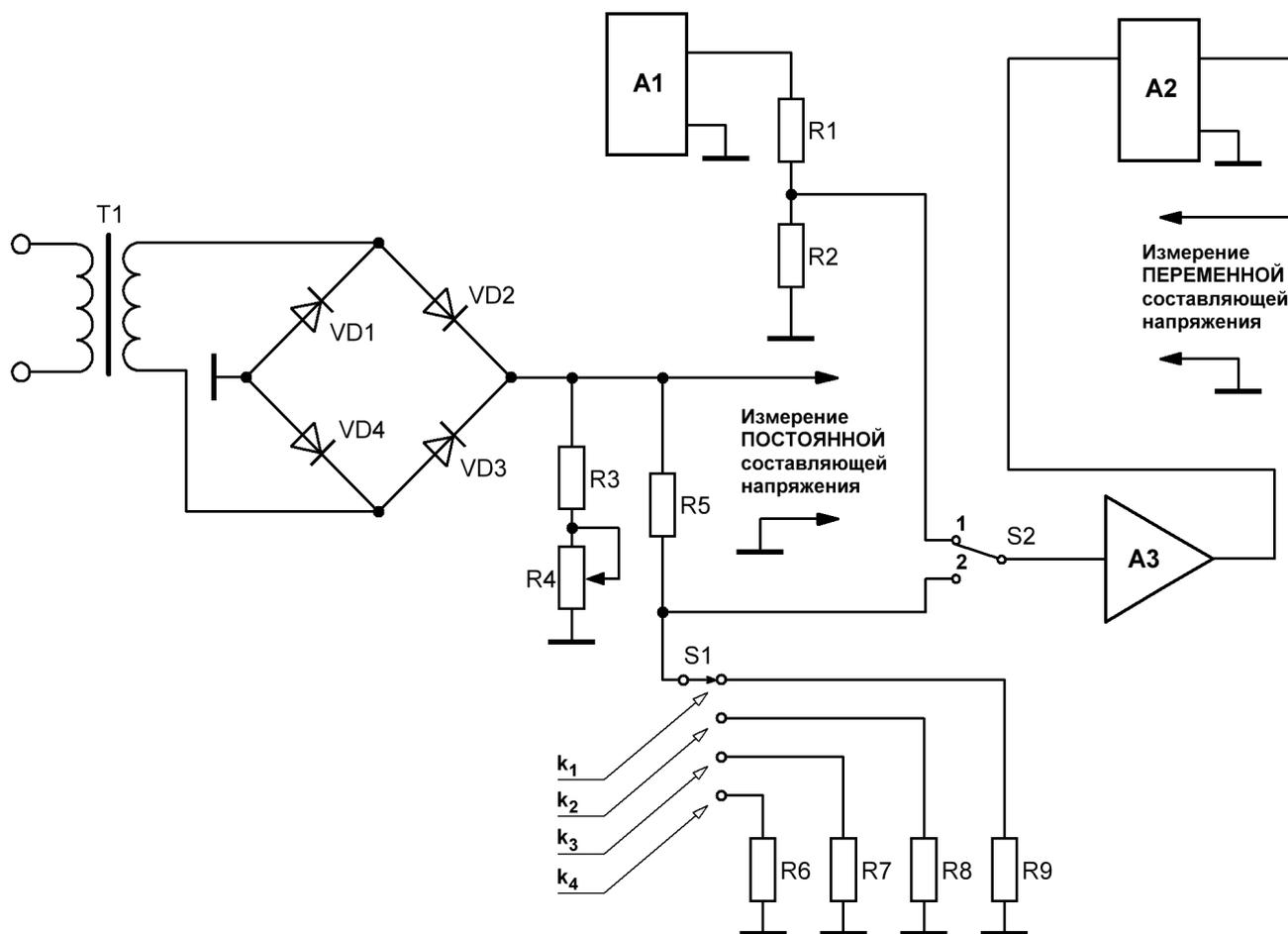


Рис. 3. Электрическая структурная схема устройства

В режиме «Калибровка» (переключатель $S2$ в положении «1») происходит коммутация генератора синусоидального напряжения $A1$ с известным значением выходного напряжения с полосовым фильтром $A2$, рассчитанным на резонансную частоту, равную частоте основной гармоники: $f_0 = f_{ground}$, что позволяет определить коэффициент передачи переменной составляющей основной гармоники полосовым фильтром. В режиме «Измерение» (переключатель $S2$ в положении «2») пульсирующее напряжение с выхода выпрямительной схемы поступает на многопозиционный переключатель $S1$ с известными значениями коэффициентов передачи k_1, k_2, \dots, k_m , снижающий уровень переменной составляющей напряжения, в зависимости от величины напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Далее, через согласующий каскад $A3$, сигнал поступает на вход полосового фильтра $A2$, коэффициент передачи которого (для частоты основной гармоники) определен ранее, в режиме «Калибровка».

Постоянная составляющая напряжения на нагрузке $U_{0,i}$ может быть измерена непосредственно на нагруз-

ке, калиброванной под заданное значение постоянной составляющей тока нагрузки.

Таким образом, приведенная схема позволяет осуществить необходимые измерения с требуемой для инженерных расчетов точностью, в широком диапазоне напряжений на вторичной обмотке трансформатора.

ВЫВОДЫ

Результатами настоящей работы является:

- 1) построение математической модели, позволяющей осуществить измерение параметров диодов выпрямительной схемы при их подключении к сетевому трансформатору, при протекании заданного тока нагрузки;
- 2) получение электрической структурной схемы измерительного устройства, поясняющей возможность реализации данного способа измерения с описанием основных блоков и узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Денисенко, П. Ерещенко, Е. Метелкин, и др. Испытания электронной аппаратуры: быстро и эффективно: статья, журнал «Компоненты и технологии», 5'2004 г.
2. Наседкин А.В., Тюлевин С.В., Пиганов М.Н. Методика производственных испытаний электронных узлов: Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, № 7 (38), 2012, с. 76–84.
3. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: учеб. Пособие для вузов / О.П. Глудкин, А.Н. Енгальчев, А.И. Коробов, Ю.В. Трегубов; под ред. А.И. Коробова. — М.: Радио и связь, 1987. — 272 с.: ил.
4. Воржев В.Б., Калиенко И.В. Применение математической регрессии для определения параметров трехфазного асинхронного двигателя // Вестник ДГТУ. — 2013. — № 5/6 (74) .
5. Воржев В.Б., Балдин О.В., Рогов И.Е. Аппроксимация вольтамперных характеристик полевых транзисторов экспоненциальными кривыми с полиномиальными показателями // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]: электрон. науч. журн. — 2015. — № 2. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/129-21621>
6. Воржев В.Б., Калиенко И.В. Аппроксимация вольтамперных характеристик полевых транзисторов на основе кубических сглаживающих сплайнов // Измерительная техника. Май, 2001. с. 60–63.
7. Воржев В.Б. Руденко Н.В. Метод расчета электрических цепей с индукционной катушкой с насыщенным магнитным сердечником (науч. статья на англ. яз.) // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) . — 2020. — 5 p. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9111931>.
8. Воржев В.Б. Руденко Н.В., Малько П.П., Дергоусов В.А. Повышение надёжности электрооборудования аграрно-промышленного комплекса на основе измерения электрической емкости конденсаторов (науч. статья на англ. яз.) // E3S Web of Conferences. — 2021. — Vol. 273. — Article 07029. — (XIV International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness — INTERAGROMASH 2021» Rostov-on-Don, Russia, February 24–26, 2021) . — URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/49/e3sconf_interagromash2021_07029.pdf.
9. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Учебник для ВУЗов. — М.: «Высшая школа», 1984 г. 559 с.
10. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Издательско-полиграфическое Агентство «Три Л», 2000 г.

© Воржев Владимир Борисович (caroling@mail.ru), Тринц Дмитрий Викторович,
Калмыкова Ксения Федоровна, Романов Дмитрий Леонидович.
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЯЗАННЫХ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

OUTLOOK FOR RELATED OPEN DATA IN EDUCATION

**O. Grishmanovskaya
P. Grishmanovsky**

Summary. Opportunities Of Linked Open Data In The Education Field. Grishmanovskaya O.N., Grishmanovskiy P.V. Surgut State University

The current trend towards increasing the information openness of various spheres of human activity contributes to the spread of open data technologies, the potential of which lies in the possibility of creating new socially significant services that provide citizens with relevant and objective information.

The use of linked open data is associated with solving a number of problems on the way to the dissemination of open data technologies in general and in the field of education in particular. The solution of a number of technological, social and legal issues is necessary for the creation and use of open data of educational organizations and the construction of information services based on them.

Keywords: open data, linked open data, education, information service.

Гришмановская Ольга Николаевна

Аспирант, Сургутский государственный университет

grishmanovskaya_on@surgu.ru

Гришмановский Павел Валерьевич

К.т.н., доцент, Сургутский государственный университет

grishmanovskiy_pv@surgu.ru

Аннотация. Существующая в настоящее время тенденция к повышению информационной открытости различных сфер человеческой деятельности способствует распространению технологий открытых данных, потенциал которых заключается в возможности создания новых общественно-значимых сервисов, предоставляющих гражданам актуальную и объективную информацию.

Применение связанных открытых данных сопряжено с решением ряда задач на пути распространения технологий открытых данных в целом и в сфере образования в частности. Решение ряда технологических, социальных и правовых вопросов необходимо для создания и использования открытых данных образовательных организаций и построения информационных сервисов на их основе.

Ключевые слова: открытые данные, связанные открытые данные, образование, информационный сервис.

Современное общество характеризуется высокой степенью зависимости социальных, политических, экономических, деловых и др. процессов от наличия, достоверности и актуальности информации, необходимой для осуществления соответствующей деятельности. С другой стороны, стремительное увеличение объемов данных, представленных в цифровом виде, оказывает влияние на процессы и изменяет их, переводя из плоскости выполняемых человеком операций с данными, такими как поиск, запрос, отбор, обработка и представление информации, в разряд информационных сервисов, предоставляющих актуальную информацию на основе потребностей человека в решении тех или иных задач. Одной из таких областей является сфера образования, однако, наличие множества разрозненных или слабо связанных источников информации в этой сфере не позволяет построить полноценные сервисы, так как адекватность консолидированных данных от таких источников не может быть гарантирована. Решением может являться вовлечение участников образовательной деятельности в процесс

организации информации в виде системы наборов связанных открытых данных.

Открытые данные (ОД) — это технологии, которые являются сугубо прикладными и ориентированными на потребителя. Для создания общественно-значимых сервисов на основе данной технологии может быть использована практически любая информация в форме открытых данных, кроме информации, относящейся к государственной, коммерческой тайне или к персональным данным.

Открытые данные можно условно разделить на четыре категории по характеру доступа к предоставляемой информации [1]:

- ♦ государственная информация ограниченного доступа;
- ♦ официальная государственная открытая информация, предоставляемая для общего пользования, т.е. доступная обществу;
- ♦ коммерческая (деловая) информация, в т.ч. информация о деятельности предприятий и орга-

низаций, нацеленная на улучшение количества и качества предоставляемых услуг;

- ◆ бесплатная (свободно-распространяемая) информация.

Первая категория — это информация, которая не является распространяемой и к ней также можно отнести и другие защищаемые данные, такие как персональные данные, поэтому технологии открытых данных не применимы к этой категории информации. Относительно следующих трех категорий технологии открытых данных могут применяться, однако, под ОД подразумевают, как правило, официальную государственную информацию для общего доступа, например, ОД муниципалитетов [1].

В России технологии открытых данных внедряются как на уровне государства, так и в регионах, и с этой целью в 2009 г. запущен некоммерческий проект OpenGovData.ru — хранилище открытых данных. На данном портале представлены государственные открытые данные по различным направлениям деятельности. В настоящее время в РФ идет интенсивное внедрение предоставления в электронном виде различных государственных услуг и в этом контексте ОД приобретают особое значение.

Об этом свидетельствуют также существующие проекты, созданные на базе открытых государственных данных, которые могут представлять информацию государственных структур и учреждений, относящимся к различным сферам жизнедеятельности. В качестве примеров таких проектов можно представить: «Университетская информационная система Россия» (uisrussia.tsu.ru) — собирает официальную государственную статистику для её использования в академических исследованиях; ЦИАН (cian.ru) — коммерческий сервис поиска недвижимости, который включает данные о качестве школ и качестве зданий, полученные как открытые данные из официальных источников; «Если быть точным» (tochno.st) — предоставляет основанную на открытых данных статистику и ее визуализацию по проблемам социальной политики и здравоохранения; «Российские школы» (russianschools.ru) — агрегирует все доступные сведения о школах, помогая исследователям и официальным лицам сферы образования, а также родителям, делающим выбор образовательного учреждения; «Открытые НКО» (openngo.ru) — система раскрытия информации о некоммерческих организациях, предоставляющая информацию о деятельности различных некоммерческих организаций на основе полученных ей государственных субсидий, грантов и контрактов [2]. Однако, в целом процесс внедрения открытых данных пока находится на начальном уровне, и информация зачастую представлена в недостаточно формализованном виде.

Наряду с правительственными данными важное место занимают научно-образовательные открытые данные. Это обусловлено тем, что образование является одной из важнейших потребностей граждан в современном обществе и одним из приоритетов государственной политики. Интерес к открытым данным образовательных организаций существует как у граждан, так и у государственных структур, осуществляющих управление и контроль в сфере науки и образования, и у самих образовательных и научных организаций, которые могут как формировать (генерировать) ОД, так и использовать их для обеспечения оптимальной работы образовательной организации, улучшении качества оказываемых услуг в области учебной, научно-исследовательской, административно-хозяйственной и др. деятельности.

В частности, такие данные вузов, как проходной балл при поступлении, включая проходной балл прошлых лет, перечень специальностей и направлений подготовки и реализуемых образовательных программ, трудоустройство выпускников и т.д. интересны, в первую очередь, абитуриентам и их родителям. Что касается данных, в которых заинтересованы сами вузы, то это востребованность выпускников тех или иных направлений и специальностей подготовки на рынке труда, направления подготовки, востребованные у абитуриентов, и их ожидания в части содержания образовательных программ, приоритеты государственной политики в части получения специалистов тех или иных направлений подготовки для нужд национальной и региональных экономик и др. Могут использоваться ОД из разных сфер деятельности, и возможность их генерации, сбора и анализа позволяют провести исследования и спрогнозировать ситуацию трудоустройства и спроса на подготовку по различным специальностям и направлениям [3].

При этом информация в виде уже полученных результатов исследований и выводов не совсем интересна для дальнейшей обработки и анализа, необходимы исходные данные, которые можно было бы собирать и анализировать как в масштабах страны, так и отдельных регионов или субъектов и т.п. Это даст любым заинтересованным сторонам возможность увидеть картину в целом по вузам РФ: номенклатура и спрос на те или иные специальности и направления подготовки, баллы ЕГЭ по годам (проходной балл, минимальный балл), трудоустройство выпускников, административно-хозяйственная деятельность организации и т.д.

Еще одним направлением применения технологии ОД в сфере образования является предоставление образовательного контента и информации и нем. Основными участниками использования технологии

открытых данных в этой области являются зарубежные университеты. В последние годы активно распространяются открытые образовательные технологии, например, массовые открытые онлайн-курсы (MOOC, OLCOS — Open eLearning Content Observatory Services), курсы на различных платформах, таких как Открытое образование, Coursera и другие. Размещение образовательных ресурсов в формате открытых данных является очень удобным способом, так как в вузах востребована информация по учебным курсам, научным публикациям, рабочим программам дисциплин, преподавателям, исследователям и экспертам и т.д. Даже в рамках одного вуза могут возникать проблемы внедрения соответствующих баз данных из-за сложностей с синхронизацией информации, в то время как создание наборов открытых данных в едином формате позволяют интегрировать ресурсы образовательных организаций для создания востребованных учебных курсов и программ.

Однако, существует ряд препятствий на пути распространения открытых данных в сфере образования [2, 4]:

1. Отсутствие единого формата открытых данных. Данные выкладываются на сайте вуза не в машиночитаемом формате, а в форматах, требующих дополнительной обработки, поэтому использовать такие данные весьма сложно, а порой практически невозможно в силу большого количества объектов, форматов их представления и различного качества. Часто документы размещаются в проприетарных форматах pdf, doc (MS Word), в виде отсканированных изображений и др. Все это не имеет отношения к ОД и машиночитаемым форматам.
2. Неинформативные для конечного потребителя наборы данных. Наборы данных, представленные на портале Рособнадзора, зачастую не представляют большого интереса с точки зрения их анализа, как правило, это списки организаций (школы, дошкольные образовательные учреждения), даты и данные проверок, отчетность. Существует обширный перечень наборов ОД, но нет четкой структуры, что усложняет их использование.
3. Нет понимания сущности открытых данных и того, как с ними работать, у участников образовательного процесса, не хватает специалистов по работе с данными, вследствие чего ОД вузов представлены очень скудно.
4. Не разрешены многие вопросы безопасности личной информации и правовые аспекты публикации контента в форме ОД.

Для преодоления этих препятствий необходимо, в первую очередь, учитывать, что под открытыми дан-

ными понимаются данные или информация, которые представлены в машинно-читаемом формате, доступны для использования и последующей обработки без ограничений, непроприетарны и др.

Существуют основополагающие классификации, связанные с открытыми данными, которые позволят оценить степень реализации этой технологии. Известную классификацию по доступности и удобству применения ОД предложил один из авторов основных концепций «Всемирной Паутины» (World Wide Web) Тим Бернерс-Ли [1, 4]. Это пятизвездочная шкала классификации открытых данных [5, 6], в которой каждый уровень включает предыдущий и дополняет его новым требованием:

- ◆ одна звезда: данные доступны в сети Интернет в любом формате, но обязательно под открытой лицензией;
- ◆ две звезды: открытые данные доступны в качестве машиночитаемых структурированных данных в проприетарном формате (например, файл в формате Excel);
- ◆ три звезды: открытые данные соответствуют двум звездам и представлены в структурированном машиночитаемом виде в непроприетарном формате (например, в формате CSV);
- ◆ четыре звезды: открытые данные соответствуют трем звездам и представлены с использованием открытых стандартов консорциума W3C (RDF и SPARQL), предназначенных для идентификации объектов и их элементов таким образом, чтобы можно было использовать URI ссылки на них;
- ◆ пять звезд: открытые данные соответствуют четырем звездам и связаны с другими наборами открытых данными (например, структурированные в виде взаимоувязанных таблиц), что позволяет определять семантику данных посредством создания общего контекста [1, 7].

Способом обращения к ОД при поиске и использовании необходимой информации являются web-сервисы. Если используются единые формат и структура ОД, представленных разными поставщиками, то взаимодействие с ними реализуется технически просто. Для этого достаточно реализации на уровне трех звезд. Однако, построение сервиса, например, национального масштаба, кроме предоставления данных в унифицированном формате, требует наличия четких семантических связей, которые должны быть проработаны в виде ER-диаграмм и отражать связи между сущностями, что соответствует пятизвездочной модели. В настоящее время существует ряд исследований как в России, так и за рубежом, посвященных разработке онтологий образовательной системы и отражающих различные ее аспекты [5].

В действительности можно наблюдать, что открытые данные в некоторых сервисах недостаточно структурированы, не всегда соблюдаются требования технологического аспекта, не учитывается нормативно-правовая база предоставления ОД.

Также следует отметить, что информация должна быть связанной. Так, если совместимость данных отсутствует, то это усложняет обработку информации в автоматизированных системах. Использование ОД позволяет устранить эти проблемы в системах автоматизации, в частности, обращаться в различные государственные или другие учреждения можно будет виртуально и многие вопросы можно будет решать дистанционно, так как уменьшится повторный ввод данных в связанные информационные системы, что позволит избежать ошибок, свойственных ручному вводу данных при их переносе из одной системы в другую. Связанность информации между автоматизированными системами позволит агрегировать, систематизировать, передавать и обрабатывать информацию в оперативном режиме, без ошибок и задержек [1].

Приведение информации к единообразной системе должно включать в себя следующее:

- ◆ четкое описание структуры ОД соответствующие нормативам;
- ◆ унифицированный формат представления ОД;
- ◆ четкий регламент обновления ОД, связанный с актуальностью информации, а также сохранение и ведение истории предыдущего состояния данных до внесения изменений и др.

Формирование и обновление ОД должно руководствоваться четким регламентом, при этом за актуальность информации отвечать должны организации или структуры, которые являются первоисточником этой информации. Сохранение истории состояния на определенные моменты времени позволяют различать актуальность ОД на момент запроса, а также иметь возможность обращаться к данным, актуальным в прошлые периоды времени, понимая, что они не являются актуальными в данный момент [1]. Кроме того, открытые данные могут быть связаны с информацией, которая не может распространяться свободно по тем или иным причинам.

С учетом всех перечисленных аспектов при создании подобной модели, можно подойти к «пяти звездам» по классификации Тима Бернерса-Ли, то есть к интеграции данных на всех уровнях и совместному использованию этих данных. Выполнить эту задачу можно на уровне государства.

Тим Бернерс-Ли ввел понятие связанных открытых данных и предложил четыре принципа связанных данных [6, 8]:

1. Следует применять URI — универсальные идентификаторы ресурсов — для идентификации любых объектов.
2. Использование HTTP URI для поиска и интерпретации объектов.
3. При обращении по URI, предоставлять полезную информацию, используя открытые стандарты, такие как RDF и SPARQL.
4. При публикации данных включать ссылки на другие URI для получения дополнительной связанной информации.

Таким образом, связанные открытые данные (Linked Open Data, LOD) — это наборы данных, опубликованные в RDF-формате с использованием унифицированного идентификатора ресурсов URI и доступные для свободного использования всеми пользователями без ограничений и механизмов контроля [9]. В совокупности они образуют семантическую сеть — информационную модель предметной области, включающую не только собственно данные, но и ссылки для анализа и использования связанных данных, т.е. представляют собой сети данных, объединяемых семантическим контекстом. При этом, использование стандартного формата RDF — это простой способ описать данные в виде «субъект — отношение — объект» или «предмет — вид взаимодействия — другой предмет», причем в качестве любого элемента URI идентифицирует любой объект, понятие или отношение. В формате RDF можно представить любые данные.

В части решения нормативно-правовых вопросов использования ОД существует три основных направления:

1. Нормативная база, обеспечивающая публикацию открытых данных государством.
2. Правовые вопросы, связанные с самими публикуемыми данными.
3. Лицензии, регламентирующие использование данных и определяющие правовые отношения пользователя данных и их публикатора [2].

В последние годы распространение направлений, связанных с открытыми технологиями, например, открытое образование, открытая наука и др., стало популярным и необходимым. Важную роль в этом представляют ОД и связанные ОД. Существуют различного рода ограничения на использование, распространение результатов исследований, технических и технологических разработок. Связано это может быть с социальной, экономической, правовой сферой, например, с авторским правом, правом патентообладателя. В то же время, открытые технологии предполагают снятие большинства подобных ограничений.

Использование открытых лицензий Creative Commons позволяют привести к сокращению данных ограничений. Например, лицензия CC Attribution-ShareAlike (сокращённо CC BY-SA) является самой распространённой, эта лицензия является копилефт-лицензией [7]. Копилефт (англ. copyleft) — концепция и практика использования законов авторского права для обеспечения невозможности ограничить любому человеку право использовать, изменять и распространять как исходное произведение, так и произведения, производные от него [10, 11]. Изменения, внесенные в Гражданский кодекс РФ, дают возможность использование открытых лицензий: Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 30.04.2021), ГК РФ Статья 1286.1. Открытая лицензия на использование произведения науки, литературы или искусства (введена Федеральным законом от 12.03.2014 N35-ФЗ).

Таким образом общественное продвижение открытых технологий стремится предоставить пользователям возможность использовать результаты интеллектуальной деятельности для улучшения качества жизни граждан [9].

На сегодняшний момент тема ОД является актуальной и востребованной, но для полноценного использования этой технологии и получения от нее общественно-значимой пользы, необходимо решать проблемы технологические, нормативно-правовые и методические, нужны стандарты работы с ОД, которые позволят решить вопросы со структурой, обработкой ОД, внедрением систем автоматизации на их основе и исключением влияния человеческого фактора. Также необходимо учесть и защитить интересы участников создания, формирования и использования ОД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Открытые данные: проблемы и решения [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytye-dannye-problemy-i-resheniya/viewer>
2. Работа с открытыми данными: особенности публикации и использования в российском правовом поле [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.infoculture.ru/wp-content/uploads/2020/11/OpenDataReview.pdf>
3. Закрытые открытые данные [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://libinform.ru/read/articles/Zakrytye-otkrytye-dannye/>
4. Революция открытых данных: ожидания и результаты [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://te-st.ru/2016/06/08/open-data-revolution/>
5. Шульга, Т.Э. О проблемах разработки открытых связанных данных в сфере высшего образования и науки РФ / Т.Э. Шульга, А.А. Сытник // Математические методы в технике и технологиях — 2019. — Т. 11. — С. 52–61.
6. Tim Berners-Lee. Linked Data [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>
7. Лицензии и инструменты Creative Commons [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лицензии_и_инструменты_Creative_Commons
8. Связанные данные [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://hmong.ru/wiki/Linked_open_data
9. Антопольский, А.Б. Перспективы развития научно-образовательных информационных ресурсов на основе открытых технологий / А.Б. Антопольский // Проблемы современного образования. — 2014. — № 3. — С. 129–138.
10. Копилефт [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/7954>
11. What is Copyleft? [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.gnu.org/copyleft/>

КЛАССИФИКАЦИЯ КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦИИ ТОЧЕК ИНТЕРЕСА

CLASSIFICATION OF CONTEXT-DEPENDENT RECOMMENDER SYSTEMS FOR RECOMMENDING POINTS OF INTEREST

P. Zhdanov

Summary. To date, context-sensitive recommender systems for recommending points of interest are effective tools for analyzing user behavior: they not only reveal user preferences, but also allow you to generate relevant recommendations for locations that will be interesting for the user to visit under given conditions. Initially, for such recommendations, various modifications of models based on matrix factorization with the addition of contextual features were used, however, with the development and mass distribution of deep learning models, researchers began to actively use neural networks in context-sensitive recommender systems to recommend points of interest, which made it possible to deduce the quality of the algorithms. to a whole new level. This study offers a comprehensive review and analysis of context-sensitive recommender approaches for point of interest recommendations based on matrix factorization and deep learning to form a common understanding among researchers interested in the subject. The paper describes various modifications used in the creation of matrix factorization models and changes in neural network architectures to work with various context factors. Also in the study, in addition to the classification of models, the features of each class of models, their advantages and disadvantages are presented.

Keywords: context-sensitive recommender systems; recommendation of points of interest; matrix factorization; neural networks.

Жданов Павел Сергеевич

Аспирант, университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
pszhdanov@itmo.ru

Аннотация. На сегодняшний день контекстно-зависимые рекомендательные системы для рекомендации точек интереса являются эффективными инструментами анализа поведения пользователей: они не только выявляют пользовательские предпочтения, но и позволяют формировать релевантные рекомендации локаций, которые будут интересны для посещения пользователю в заданных условиях. Изначально для таких рекомендаций использовались различные модификации моделей на основе матричной факторизации с добавлением контекстных признаков, однако с развитием и массовым распространением моделей глубокого обучения, исследователи стали активнее использовать нейронные сети в контекстно-зависимых рекомендательных системах для рекомендации точек интереса, что позволило вывести качество работы алгоритмов на принципиально новый уровень. В этом исследовании предлагается всесторонний обзор и анализ контекстно-зависимых рекомендательных подходов для рекомендаций точек интереса, основанных на матричной факторизации и глубоком обучении, чтобы сформировать общее представление у исследователей, заинтересованных в предмете. В работе описываются различные модификации, используемые при создании моделей матричной факторизации и изменения в архитектурах нейронных сетей для работы с различными контекстными факторами. Также в исследовании, помимо классификации моделей, представлены особенности каждого класса моделей, их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: контекстно-зависимые рекомендательные системы; рекомендация точек интереса; матричная факторизация; нейронные сети.

Введение

Для решения проблемы актуальных для пользователя рекомендаций на сегодняшний день существуют множество подходов. Большинство из них используют различные данные: геометки, предпочитаемый контент в интернете, социальные связи, данные о банковских транзакциях и т.д. Некоторые подходы пытаются учитывать контекст, в котором находился пользователь при принятии того или иного решения. На основе всех этих данных могут выдаваться абсолютно разные рекомендации: от рекомендации одного конкретного объекта, до полноценного плана действий, включающего различные активности, кото-

рый максимально учитывает пользовательские интересы и заданные им ограничения.

В [1] контекст определяется, как набор различных контекстных факторов, которые имеют определенную структуру и которые характеризуют текущее состояние пользователя в момент предоставления ему рекомендации. К контекстным факторам могут относиться время, локация, эмоциональное состояние и т.д. Авторы приводят следующие классификации контекста: по тому, насколько системе доступна информация о контексте (полностью наблюдаемый, частично наблюдаемый и ненаблюдаемый) и как контекст меняется с течением времени (статический, динамический). В [2]

дополнительно рассматривается классификация контекста по способам его представления: в виде иерархической структуры и в виде матрицы.

Постановка задачи для контекстно-зависимых рекомендательных систем для рекомендации точек интереса выглядит следующим образом: для заданного набора пользователей $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, точек интереса $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$, контекстов $C = \{c_1, c_2, \dots, c_d\}$ и рейтингов $R = \{r_1, r_2, \dots, r_d\}$ (пользовательских оценок для каждого предмета при наличии определенного контекста) необходимо построить модель, которая сможет предсказывать рейтинг точки интереса для пользователя.

Целью данной работы является обзор существующих контекстно-зависимых рекомендательных систем и составление классификации данных методов. Поскольку наиболее популярными рекомендательными алгоритмами являются алгоритмы, которые используют матричную факторизацию и алгоритмы, использующие нейронные сети, то в этой работе будет представлена классификация рекомендательных систем на основе используемых моделей, а также выявлены их достоинства и недостатки.

В работе используются сокращения для названий используемых моделей:

1. MF — matrix factorization, матричная факторизация;
2. AE — autoencoder, автокодировщик;
3. MLP — multi-layer perceptron, полносвязная нейронная сеть;
4. RNN — recurrent neural network, рекуррентная нейронная сеть;
5. LSTM — long short-term memory, сеть долгой краткосрочной памяти;
6. GRU — gated recurrent units, управляемый рекуррентный блок;
7. GNN — graph neural network, графовая нейронная сеть;
8. CNN — convolutional neural network, сверточная нейронная сеть.

Также в работе используются сокращения для обозначения метрик:

1. NDCG — normalized discounted cumulative gain;
2. MAE — mean absolute error;
3. RMSE — root mean squared error;
4. HR — hit ratio;
5. MAP — mean average precision;
6. MRR — mean reciprocal rank.

В первой части работы представлены модели на основе матричной факторизации. В во второй — модели,

использующие нейронные сети. В заключении представлены выводы работы и достоинства и недостатки каждого класса моделей.

1. Рекомендательные системы на основе матричной факторизации

Одними из самых первых моделей, которые были использованы для контекстно-зависимых рекомендательных систем для рекомендации точек интереса, были модели, основанные на матричной факторизации. В [3], одной из первых работ, авторы разработали контекстно-зависимую рекомендательную систему для рекомендации точек интереса пользователей. В работе предлагается следующая модель для представления рейтингов:

$$r_{ui c_1 \dots c_k} = v_u q_i^T + \bar{i} + b_u + \sum_{j=1}^k b_{i c_j}, \quad (1.1)$$

где $r_{ui c_1 \dots c_k}$ — рейтинг предмета i для пользователя u при наборе контекстных факторов $c_1 \dots c_k$;

v_u — вектор, представляющий пользователя u ;

q_i — вектор, представляющий предмет i ;

\bar{i} — среднее значение рейтинга предмета i ;

b_u — базовый параметр для пользователя u ;

$b_{i c_j}$ — базовый параметр для контекста c_j и предмета i .

Базовые параметры — это параметры модели, которые введены для того, чтобы отразить отклонения рейтингов от среднего значения. Для формулы (1.1) строится соответствующая оптимизационная задача минимизации, которая решается с помощью градиентного спуска.

В [4] авторы предлагают использовать некоторые модификации подхода, описанного в [3]. Рассматриваются три модели:

1. Модель, которая предполагает, что контекст влияет на все рейтинги одинаково, независимо от объекта (CAMF-C);
2. Модель, которая предполагает, что контекст влияет на каждый объект уникальным образом (CAMF-CI);
3. Модель, которая предполагает, что контекст влияет на различные группы объектов (CAMF-CC).

Сравнивая перечисленные подходы с другими базовыми моделями, авторы отмечают, что модель, которая рассматривает пары контекст — категории объектов показывает самый лучший результат.

Модель HCMF, предложенная в [5] является модификацией модели из [3], которая дополнительно ис-

Таблица 1. Контекстно-зависимые рекомендательные системы на основе матричной факторизации

Название модели	Контекст	Целевая переменная	Метрики
MF + context [3]	Геоданные, время, данные из опроса пользователя	Рейтинг объекта	MAE, precision, recall
CAMF-CC [4]	Геоданные, время, данные из опроса пользователя	Рейтинг объекта	MAE
HCMF [5]	Информация с сенсоров мобильного устройства и статистики по этим данным.	Рейтинг объекта	RMSE, NDCG, Hit@k
FMFMGM [6]	Геоданные	Вероятность посещения места	Precision@k, Recall@k
GEO-MF [7]	Геоданные	Рейтинг объекта	Precision@k, Recall@k
GEO-MF++ [8]	Геоданные	Рейтинг объекта	NDCG@k, Recall@k
STELLAR [9]	Геоданные и время	Вероятность посещения места	Precision@k, Recall@k

пользует скрытый контекст. Для получения скрытого представления контекста авторы дополнительно используют такие методы снижения размерности, как метод главных компонент и полносвязный автокодировщик. Итоговая модель выглядит следующим образом:

$$r_{uic_1\dots c_k l_1\dots l_d} = v_u q_i^T + \bar{r} + b_u + \sum_{j=1}^k b_{ic_j} + \sum_{j=1}^d b_{ij} l_j, \quad (1.2)$$

где $r_{uic_1\dots c_k}$ — рейтинг предмета i для пользователя u при наборе контекстных факторов $c_1\dots c_k$ и при наборе скрытых контекстных факторов $l_1\dots l_d$;

- v_u — вектор, представляющий пользователя u ;
- q_i — вектор, представляющий предмет i ;
- \bar{r} — среднее значение рейтинга предмета i ;
- b_u — базовый параметр для пользователя u ;
- b_{ic_j} — базовый параметр для контекста c_j и предмета i ;
- d — размерность скрытого пространства;
- b_{ij} — базовый параметр, отражающий отклонения рейтинга предметов от среднего значения для скрытого контекста l_j .

Аналогично [3] для (1.2) формируется оптимизационная задача, которая решается с помощью метода градиентного спуска.

В [6] авторы предлагают модель FMFMGM, которая для рекомендации точек интереса использует социальные и географические факторы. Для моделирования геопространственных признаков исследователи используют модель смеси Гауссовых распределений, а данные о социальных взаимодействиях учитывают матричную факторизацию. В основе этой модели лежат следующие предположения:

- ♦ У каждого пользователя есть свои «центры интересов», в которых точки интереса распределены по нормальному закону.
- ♦ Действия пользователя подчиняются следующей закономерности — чем дальше от центра инте-

реса пользователя находится точек интереса, тем меньше вероятность, что пользователь ее посетит.

- ♦ Социальное взаимодействие также оказывает влияние на выбор пользователя, но не такое значительно, как сами точки интереса.

В [7] авторы предлагают GeoMF — алгоритм, в котором расширяются пользовательские латентные факторы и латентные факторы точек интереса в модели факторизации с помощью векторов активных участков пользователей (значений, характеризующих вероятность появления пользователя в определенной локации) и векторов влияния точек интереса на локации (количественная характеристика, характеризующая влияние одной точки интереса на все остальные точки интереса). Также в модели используется следующее предположение: если пользователь не посещал точки интереса, расположенные рядом с теми точками интереса, которые он часто посещает, то скорее всего предлагать для посещения эти ближайшие точки интереса ему не релевантно.

В [8] представлена GeoMF++ — модификация GeoMF, главной отличительной особенностью которой является то, что векторы, характеризующие влияние локаций, отображаются в низкоуровневое векторное представление и прибавляются к векторам, характеризующим локации.

В [9] авторы предлагают модель под названием STELLAR, где дополнительно учитывается временной фактор в решении задачи последовательных рекомендаций точек интереса. Помимо обычной матрицы, которая описывает взаимодействие пользователя и точки интереса, дополнительно вводятся матрицы, характеризующие взаимодействие точки интереса и времени и точек интереса друг с другом. Поскольку в работе решается задача последовательного предсказания точек, то авторы ставят перед собой задачу ранжирования

наиболее подходящих мест для пользователя в заданный момент времени, а не обычную задачу предсказания точек интереса.

Итоговая таблица с описанием особенностей контекстно-зависимых рекомендательных систем на основе матричной факторизации представлена в таблице 1.

Среди главных достоинств моделей, описанных в работах выше, можно выделить относительную простоту моделей и возможность интерпретации результатов. К недостаткам этих моделей можно отнести низкое качество работы этих алгоритмов и необходимость самостоятельно определять набор данных, который используется в качестве пользовательского контекста, что может привести к снижению качества работы алгоритма, при неправильном выборе контекстных данных.

2. Рекомендательные системы на основе нейронных сетей

В последние несколько лет исследователи стали активно применять модели на основе нейронных сетей при решении задач, связанных с контекстно-зависимыми рекомендательными системами для рекомендации точек интереса. Например, в [10] предлагается новый вариант LSTM, названный ST-CLSTM, который использует фильтры времени и расстояний, чтобы фиксировать пространственно-временные отношения между последовательными отметками о посещениях точек интереса. В частности, один из таких фильтров предназначен для управления обновления краткосрочного интереса, а другая пара фильтров для управления обновления долгосрочного интереса.

В [11] авторы разработали модель SLCM, которая использует контекстную информацию в явном и скрытом виде, пытаясь выучить функцию взаимодействия между пользователями, предметами и контекстами. Для извлечения скрытого контекста авторы используют два подхода:

1. Получение вектора скрытого текущего контекста с помощью полносвязного автокодировщика.
2. Получение последовательного скрытого контекста на основе нескольких предшествующих контекстов с помощью LSTM автокодировщика.

В [12] предлагается модель CARA, в основе которой лежит архитектура рекуррентной нейронной сети с механизмом внимания для предсказания точек интереса. Особенностью архитектуры являются фильтры контекста и фильтр времени и пользовательского местоположения. Разработанная модель позволяет контролировать влияние скрытых состояний между рекуррентными ячейками, поддерживает как непрерывный,

так и дискретный вход и может рассматривать различные виды контекста по-разному, таким образом обходя ряд ограничений, с которыми сталкивались исследователи в более ранних моделях.

В [13] авторы предлагают основанную на глубоком обучении модель для контекстных рекомендаций. Модель состоит из архитектуры AE, дополненной контекстно-управляемым механизмом внимания, называемым ACDA. Механизм внимания используется для кодирования контекстных атрибутов в скрытое представление предпочтений пользователя, которое связывает персонализированный контекст с предпочтением каждого пользователя, чтобы предоставить рекомендации, ориентированные на этого конкретного пользователя.

В [14] исследователи рассматривают использование моделей гетерогенной информационной сети и графовых нейронных архитектур для задач рекомендаций. Авторы предлагают новый метод встраивания гетерогенной информационной сети, SgWalk, который исследует близость между пользователями и местоположениями и генерирует рекомендации по местоположению через встраивание узлов на основе подграфов. SgWalk выполняет четыре шага: построение пользовательских подграфов в соответствии с контекстом местоположения, генерация случайных последовательностей обхода пользовательских подграфов, изучение встраивания узлов в граф и генерация рекомендаций по местоположению с использованием векторного представления узлов. SgWalk отличается от существующих методов, основанных на метапутях или двудольных графах, за счет использования контекстного пользовательского подграфа.

В [15] авторы концентрируются на проблеме разреженности данных при прогнозировании посещения точек интереса. Исследователи предлагают модель на основе глубокого обучения под названием CatDM, которая включает категорию точки интереса и географическое влияние объектов для уменьшения пространства поиска и преодоления разреженности данных. Авторы разрабатывают два глубоких кодировщика: первый кодировщик фиксирует пользовательские предпочтения в категориях точек интереса, тогда как второй использует пользовательские предпочтения в самих точках интереса. Учитывая влияние времени во втором кодировщике, авторы разделяют пользовательскую историю посещений точек интереса на несколько разных временных окон и получают итоговый результат с помощью персонализированного механизма внимания.

В [16] исследователи предлагают новую структуру рекомендаций HGMAP, которая представляет комбинацию графовых сверточных нейронных сетей и механиз-

Таблица 2. Контекстно-зависимые рекомендательные системы на основе нейронных сетей

Название модели	Модель	Целевая переменная	Метрики
ST-CLSTM [10]	LSTM	Вероятность посещения места	Accuracy@k, MAP
SLCM [11]	LSTM	Рейтинг объекта	RMSE, MAR, HR@k
CARA [12]	GRU + механизм внимания	Вероятность выбора объекта	HR, NDCG
ACDA [13]	AE + механизм внимания	Вероятность выбора объекта	Precision@k, MAP, Recall@k, NDCG
SgWalk [14]	GNN	Рейтинг объекта	Precision@k, Recall@k, FMeasure@k
CatDM[15]	LSTM + механизм внимания	Рейтинг объекта	Precision@k, Recall@k,
HGMAP[16]	CNN + механизм внимания	Рейтинг объекта	Precision@k, Recall@k,
LSA[17]	LSTM + механизм внимания	Рейтинг объекта	Precision

ма внимания. HGMAP строит пространственный граф на основе географического расстояния между парами точек интереса и использует графовые сверточные сети для поисков закономерностей разных точек интереса. Кроме того, HGMAP использует социальные отношения пользователя с другими пользователями и различает предпочтения пользователя по различным аспектам точек интереса с помощью механизма внимания.

В [17] авторы предлагают модель LSA, которая является комбинацией LSTM и механизма внимания. На первом этапе используется построение векторных представлений для количественной оценки информации о пользователе, его дружеских отношениях, информации о точке интереса. Далее на основе истории пользователя и текущей последовательности регистрации посещений точек интереса строится механизм долгосрочного и краткосрочного внимания, где количественная информация используется в качестве входных данных LSA для лучшего изучения долгосрочных и краткосрочных интересов пользователя. На последнем этапе информация из социальной сети и семантическая информация помещаются в разные входные слои, а информация о времени и географическом местоположении исторического поведения пользователя используется для рекомендации пользователям следующей точки интереса.

Итоговая таблица с описанием особенностей контекстно-зависимых рекомендательных систем на основе нейронных сетей представлена в таблице 2.

Среди главных достоинств рассматриваемого класса моделей можно выделить высокое качество работы алгоритмов и отсутствие необходимости в явном виде

выделения контекстных признаков для моделей. К недостаткам можно отнести долгое обучение моделей, трудности с интерпретацией результатов.

Заключение

В работе представлен обзор существующих контекстно-зависимых рекомендательных систем для рекомендации точек интереса и классификация методов, которые лежат в их основе. Все модели были разделены на два класса — модели, которые используют матричную факторизацию и модели, использующие нейронные сети. Изначально, в качестве контекстно-зависимых рекомендательных систем для рекомендации точек интереса использовались модели на основе матричной факторизации. Главными достоинствами этих моделей являются относительная простота моделей и возможность интерпретации результатов. Среди недостатков этих моделей можно выделить низкое качество работы этих алгоритмов и необходимость самостоятельно определять набор данных, который используется в качестве пользовательского контекста. После массового распространения нейронных сетей их стали использовать и в решении задач контекстно-зависимых рекомендательных систем для рекомендации точек интереса. Основными достоинствами этих моделей является высокое качество работы по сравнению с моделями, использующими матричную факторизацию и отсутствие необходимости в явном виде выделения контекстных признаков для моделей. К недостаткам данных моделей можно отнести долгое обучение моделей и трудности с интерпретацией результатов. Каждый из рассмотренных классов моделей имеет свои достоинства и недостатки, которые лучше использовать в зависимости от рассматриваемой задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adomavicius G., Tuzhilin A. Context-aware recommender systems //Recommender systems handbook. — Springer, Boston, MA, 2011. — С. 217–253.
2. Seyednezhad S. M. et al. A review on recommendation systems: Context-aware to social-based //arXiv preprint arXiv:1811.11866. — 2018.
3. Baltrunas L. et al. Context relevance assessment and exploitation in mobile recommender systems //Personal and Ubiquitous Computing. — 2011. — С. 1–20.

4. Baltrunas L., Ludwig B., Ricci F. Matrix factorization techniques for context aware recommendation //Proceedings of the fifth ACM conference on Recommender systems. — 2011. — С. 301–304.
5. Unger M. et al. Towards latent context-aware recommendation systems //Knowledge-Based Systems. — 2016. — Т. 104. — С. 165–178.
6. Cheng C. et al. Fused matrix factorization with geographical and social influence in location-based social networks //Aaii. — 2012. — Т. 12. — С. 17–23.
7. Lian D. et al. GeoMF: joint geographical modeling and matrix factorization for point-of-interest recommendation //Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. — 2014. — С. 831–840.
8. Lian D. et al. GeoMF++ Scalable Location Recommendation via Joint Geographical Modeling and Matrix Factorization //ACM Transactions on Information Systems (TOIS). — 2018. — Т. 36. — №. 3. — С. 1–29.
9. Zhao S., Lyu M.R., King I. STELLAR: Spatial-Temporal Latent Ranking Model for Successive POI Recommendation //Point-of-Interest Recommendation in Location-Based Social Networks. — Springer, Singapore, 2018. — С. 79–94.
10. Zhao P. et al. Where to go next: A spatio-temporal lstm model for next poi recommendation //arXiv preprint arXiv:1806.06671. — 2018.
11. Livne A. et al. Deep Context-Aware Recommender System Utilizing Sequential Latent Context //arXiv preprint arXiv:1909.03999. — 2019.
12. Manotumruksa J., Macdonald C., Ounis I. A contextual attention recurrent architecture for context-aware venue recommendation //The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval. — 2018. — С. 555–564.
13. Jhamb Y., Ebesu T., Fang Y. Attentive contextual denoising autoencoder for recommendation //Proceedings of the 2018 ACM SIGIR International Conference on Theory of Information Retrieval. — 2018. — С. 27–34.
14. Canturk D., Karagoz P. SgWalk: Location Recommendation by User Subgraph-Based Graph Embedding //IEEE Access. — 2021. — Т. 9. — С. 134858–134873.
15. Yu F. et al. A category-aware deep model for successive POI recommendation on sparse check-in data //Proceedings of the web conference 2020. — 2020. — С. 1264–1274.
16. Zhong T. et al. Hybrid graph convolutional networks with multi-head attention for location recommendation //World Wide Web. — 2020. — Т. 23. — С. 3125–3151.
17. Wang K., Wang X., Lu X. POI recommendation method using LSTM-attention in LBSN considering privacy protection //Complex & Intelligent Systems. — 2021. — С. 1–12.

© Жданов Павел Сергеевич (pszhdanov@itmo.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



НИУ ИТМО

КОНВЕРТАЦИЯ ПАКЕТОВ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СПЕЦИФИКАЦИИ SCORM В XAPI И ESCORM

CONVERSION OF PACKAGES OF EDUCATIONAL MATERIALS ACCORDING TO THE SCORM SPECIFICATION TO XAPI AND ESCORM

V. Zhigulsky

Summary. The paper considers the problem of convenience and quality of educational content delivery in the distance learning environment and its solution. The shortcomings of the current distance learning systems using different approaches to the creation of educational materials are explored, using the example of Moodle. The advantages and disadvantages of packages of educational materials based on the SCORM specification (versions 1.2 and 2004) and the Experience API are considered. The solution to this problem is the use of modern educational materials based on the xAPI specification, which allows you to track any user experience when interacting with materials, aggregate it and, based on the data obtained and their interpretation, improve the efficiency and quality of educational materials. As part of the work, an automated system was developed for converting educational materials from the SCORM format to xAPI and extended SCORM. Its advantages and disadvantages are considered.

Keywords: learning management system, Experience API, Tin Can API, SCORM, extended SCORM, distance learning, educational materials.

Жигульский Владислав Евгеньевич

Аспирант

Национальный исследовательский университет

ИТМО

urachko@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается проблема удобства и качества подачи образовательного контента в среде дистанционного обучения и её решение. Исследуются недостатки текущих систем дистанционного обучения, использующие разные подходы к созданию учебных материалов, на примере Moodle. Рассматриваются преимущества и недостатки пакетов учебных материалов на основе спецификации SCORM (версий 1.2 и 2004) и Experience API. Решением обозначенной проблемы является использование современных учебных материалов основанных на спецификации xAPI, которая позволяет отслеживать любой пользовательский опыт при взаимодействии с материалами, агрегировать его и на основе полученных данных и их интерпретации повышать эффективность и качество учебных материалов. В рамках работы была разработана автоматизированная система по конвертации учебных материалов из формата SCORM в xAPI и eSCORM. Рассмотрены ее преимущества и недостатки.

Ключевые слова: система управления обучением, Experience API, Tin Can API, SCORM, extended SCORM, дистанционное обучение, учебные материалы.

Введение

Позиции дистанционного образования укрепляются в сфере не только дополнительного образования, но и в рамках образовательных программ высших учебных заведений. Проблемы и перспективы использования дистанционных образовательных технологий в системе высшего образования были исследованы Кислухиной И.А. [1]. В исследовании EdTech-рынка за 2022 год [2] было обозначено, что в России люди в возрасте 18–64 года потратили порядка 226 млрд. рублей на дополнительное образование в 2021 году, в отличие от трат на очные обучения по тем же направлениям (214 млрд. рублей). На образовательных площадках преобладают как устаревшие пакеты учебных материалов, так и контент не упакованный, а размещенный в качестве самостоятельных позиций на самих площадках, что порождает больше проблем в удобстве и качестве. В связи с этим, растет важность развития веб технологий в области дистанци-

онного образования и появляются проблемы удобства и качества подачи образовательного контента, а также мониторинга процессов активности пользователей систем [3]. Использование современных спецификаций для разработки пакетов учебных материалов, как xAPI, позволяет решить вышеуказанные проблемы.

1. Учебные материалы SCORM в СДО

Согласно исследованию Carl Beckford и Ezra Mugisa, многие используют СДО Moodle и Blackboard для обучения в связи с их преимуществами [4]. Moodle дает возможности полного цикла разработки и управления учебными курсами, что является традиционным подходом. Основным недостатком описанного традиционного подхода к созданию курсов является невозможность обмена и тем более продажи учебных курсов, что выражается в проблеме перехода между СДО. Решением этой проблемы в свое время была разработка спецификации SCORM. Во всем мире активно используется

стандарт SCORM и его основные реализации в виде SCORM 1.2 и SCORM 2004. Пакеты учебного контента, созданные по этой спецификации, позволяют фиксировать кто, когда, сколько баллов получил во время тестирования и с каким результатом изучил контент. Главное, чем отличаются пакеты электронных курсов SCORM — простота и удобство использования. Созданные в таком формате занятия можно перенести в любую поддерживающую систему дистанционного обучения, и они будут работать, как и в прежней системе. Преимущества и недостатки, указаны в работе Игоря Погодаева и Стеллы Ляшевой [5], а решение недостатков впоследствии переросло в новую спецификацию, имеющую большую гибкость — Experience API (xAPI). По информации за декабрь 2020 года [6] устаревшими технологиями были сделаны 98.4% курсов на площадке SCORM Cloud.

2. Experience API

Experience API — это спецификация для отслеживания и составления отчетов об опыте обучения. Это позволяет собирать данные о широком спектре учебных действий, которые также могут происходить за пределами традиционной СДО. xAPI, также известный как Tin Can API, является современным преемником SCORM.

Пакеты учебных материалов, разработанных по данной спецификации, позволяют записывать в хранилище учебных данных (LRS) любой опыт взаимодействия пользователя с контентом [7], как просмотр видео, чтение статей, участие в онлайн-дискуссиях, игры и многое другое. В отличие от SCORM, где необходима конкретная оболочка запуска учебного материала в виде СДО, xAPI может работать локально и даже без подключения к интернету, отправляя данные об обучении позднее при появлении доступа к интернету.

Спецификация xAPI определяет набор операторов, которые используются для описания учебных действий. Каждое утверждение состоит из действующего лица, глагола и объекта. Действующее лицо (актор) — это лицо или система, выполнившая действие, глагол — действие, которое было выполнено, а объект — предмет, над которым было выполнено действие. Например, утверждение может быть таким: «Жигульский Владислав прошел курс «Введение в xAPI» или «Жигульский Владислав поставил на паузу видео «Запуск курса». Отправленные утверждения хранят достаточное количество мета данных для идентификации как актора, так и самого объекта. Так, например, при отправке утверждения о паузе в видео из примера выше, об акторе может быть известна информация из СДО Moodle, как идентификатор пользователя и электронная почта, а об объекте любая информация, запрограммирован-

ная при создании курса, как: сколько видео было просмотрено; на какой секунде была пауза; сколько продолжалась пауза, какие объекты являются родительскими (курс, конкретный раздел) и др. Отправка операторов в LRS является ключевым отличием от SCORM при разработке учебного материала по спецификации xAPI.

3. Конвертация пакетов SCORM в xAPI

Для автоматизированной конвертации пакетов учебных материалов, созданных по спецификации SCORM (1.2 и 2004), в пакеты учебных материалов xAPI и расширенный SCORM (eSCORM), была написана программа на языке программирования javascript, которой нет аналогов в открытом доступе в сети интернет.

Первый вариант конвертации — это полная конвертация SCORM в xAPI. В этом случае происходит полная пересборка пакета, инкапсулирующего новый манифест и настройки, получая все преимущества xAPI спецификации, в том числе запускать учебный контент без привязки к СДО и оффлайн. Во втором случае пакет остаётся формата SCORM, но происходит инъекция разработанного автоматического обработчика xAPI и разработанного компанией adlnet слушателя SCORM ивентов [8], что позволяет пользоваться пакетом, как и прежде и отправлять утверждения как в полномочном xAPI, но, к сожалению, учебный материал все еще остается привязанный к СДО.

Автоматический обработчик xAPI является одинаковым для обоих форматов и использует систему поиска типовых структурных элементов учебного материала (интерактивные элементы) методами обхода дерева формата Document Object Model (DOM). Для обхода дом дерева используется основанная на алгоритме поиска в глубину (DFS) функция, осуществляющая поиск элементов по валидному css-селектору. Вычислительная сложность функции составляет $O(n)$ и зависит от глубины дерева. Для исключения части элементов был разработан метод маркировки уже задействованных в системе для исключения их повторной инициализации. Элементы с установленной маркировкой в виде уникального идентификатора исключаются из поиска посредством добавления условия в css-селектор в результате чего уменьшается размерность выборки. Добавление сложных условий по исключению в строку css-селектора не изменяет сложность функции поиска.

Разработанный в рамках данной работы метод уникальной идентификации элементов базируется на комплексе методов получения уникальности элемента DOM дерева, как (идентификатор, класс, тег, дата-атрибут) самого элемента, так и его родителей, что позволяет получить уникальную строку валидную для

Таблица 1. Результаты тестирования конвертированных пакетов.

Критерий/ Материал	iSpring SCORM 2004 в xAPI	Course Editor SCORM 2004 в xAPI	iSpring SCORM 2004 в eSCORM	Course Editor SCORM 2004 в eSCORM
Верификация	2	1	3	3
Валидация	3	3	3	3
Пользовательское тестирование	3	3	3	3
Тестирование производительности	3	3	3	3

css-селектора искомого элемента. К полученной строке применяется метод хеширования для экономии используемой памяти. Строка является идентификатором для маркировки элемента.

Этот метод является конкурентом xpath. Оба метода имеют сложность $O(n)$. В результате внутреннего тестирования разработанный метод показал себя эффективнее в условиях высоко интерактивной среды (как пакет учебного материала), когда элемент лишь меняет свое расположение в DOM дереве не изменяя своей функции/задачи. Разработанный метод позволил идентифицировать до 13% всех интерактивных элементов как уже ранее идентифицированные, что благоприятно сказывается на интерпретации утверждений, полученных от системы. Ложноположительных срабатываний было менее 1% и они легко выявляются при интерпретации утверждений.

Оценка качества конвертации из одного формата в другой может быть сложной задачей, и конкретный подход будет зависеть от характера материалов и целей конвертации. Тем не менее были проверены некоторые общие шаги для оценки качества преобразования, как:

1. Верификация: сравнение исходных материалов с преобразованными материалами, чтобы убедиться, что все содержимое, форматирование и функциональность были точно и полностью преобразованы. Это можно сделать вручную или с помощью автоматизированных инструментов.
2. Валидация: тестирование преобразованных материалов, чтобы убедиться, что они соответствуют спецификациям и требованиям целевого формата. Это может включать тестирование функциональности, удобства использования и доступности материалов.
3. Пользовательское тестирование: получение отзывов от пользователей, которые взаимодействовали с преобразованными материалами, чтобы оценить их удовлетворенность и эффек-

тивность. Это можно сделать с помощью опросов, интервью или юзабилити-тестирования.

4. Тестирование производительности: проверка производительности преобразованных материалов, особенно если материалы являются интерактивными или содержат мультимедийный контент. Тестирование должно включать нагрузочное тестирование, стресс-тестирование и тестирование масштабируемости.

Оценка пакетов учебных материалов была произведена на основе конвертированных из систем быстрого создания контента iSpring и Course Editor по 3-балльной шкале. Результаты тестирования приведены в таблице 1.

В результате в рамках пользовательского опыта в использовании учебных материалов ничего не изменилось в плане производительности и работы пакета. Однако, учебные материалы, полностью переведенные на спецификацию xAPI, потеряли часть функциональности в обработке и отправке утверждений о прохождении тестовых частей (квизов), в связи со сложностью определения и подсчета правильных ответов. В данном случае в рамках конвертации пакета системы iSpring было реализовано большинство корректных проверок тестов, в отличие от Course Editor, а при преобразовании в расширенный SCORM пакет, утверждения о прохождении тестовых частей обрабатываются на стороне SCORM пакета, что позволяет формировать и сохранять утверждения в изначальной форме.

Заключение

На основании проведенного исследования следует, что подход к созданию курсов, являющийся традиционным, даже с использованием учебных материалов SCORM, морально устарел и следует внедрять в системы наиболее гибкий и полный формат по спецификации xAPI. Переход на современные форматы курсов электронного обучения является логичным и необхо-

димым для увеличения эффективности образовательного процесса.

xAPI обеспечивает более гибкий подход к обучению на основе данных, предлагая более подробные и детализированные данные, чем SCORM, и позволяет отслеживать процесс обучения на самых разных платформах и устройствах. Это делает его мощным инструментом

для понимания того, как люди учатся, и для повышения эффективности программ обучения.

Разработанная в рамках данной работы система конвертации пакетов учебных материалов, не имеющая аналогов в открытом доступе, позволяет с достаточным качеством преобразовать пакет из устаревшего формата в новый, что решает обозначенную проблему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кислухина И.А. Использование дистанционных образовательных технологий в системе высшего образования: проблемы и перспективы // УЭК. 2017. № 9
2. Исследование рынка онлайн-образования 2022 [Электронный ресурс]. — URL: https://netology.ru/edtech_research_2022 (дата обращения 11.12.2022).
3. Комаров Алексей Игоревич, Панченко Виктор Михайлович Технологический комплекс средств для реализации образовательного процесса с элементами интерактивности и идентификации обучаемых // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. № 3–1.
4. Beckford Carl, Mugisa Ezra K. Expanding learner-centric course delivery towards optimality in e-learning // European journal of education and applied psychology. 2018. № 1.
5. Погодаев Игорь Владимирович, Ляшева Стелла Альбертовна Анализ стандартов дистанционного образования // StudNet. 2020. № 4.
6. An exciting time to watch xAPI and cmi5 adoption numbers [Электронный ресурс]. — URL: <https://xapi.com/blog/an-exciting-time-to-watch-xapi-and-cmi5-adoption-numbers> (дата обращения 08.12.2021).
7. Копилов А.Д., Лямин А.В. Спецификация Experience API. Версия 1.0.1 — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. — 120 с.
8. SCORM-to-xAPI-Wrapper [Электронный ресурс]. — URL: <https://github.com/adlnet/SCORM-to-xAPI-Wrapper> (дата обращения 23.11.2022).

© Жигульский Владислав Евгеньевич (vrachko@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



НИУ ИТМО

МОДИФИКАЦИЯ КЛАССИЧЕСКОГО КВАНТОВОГО ПРОТОКОЛА BB84, ПОВЫШАЮЩАЯ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

MODIFICATION OF THE CLASSICAL QUANTUM PROTOCOL BB84, INCREASING ITS CHARACTERISTICS

K. Lyashenko
V. Porksheyana
L. Cherkesova
E. Revyakina
I. Yengibaryan
O. Buryakova
O. Reshetnikova

Summary. The article draws the attention to the field of quantum cryptography, namely, to its specific section concerning the development of quantum cryptographic protocols, on the creation of which scientists from various countries have been working for almost forty years. Quantum cryptography is considered today as the technology capable to form the new unique appearance of telecommunication networks of the future. However, at the same time, no one with full confidence can to predict guaranteed what fully formed quantum Internet infrastructure will look like, and what outcome it may lead to. The article puts forward new hypothesis regarding the universal improvement of quantum protocols, using the example of modification of the classical quantum protocol BB84. The application of the idea put forward by the authors is based on the theory of artificial manufactured reconstruction of photons and their further use, which makes it possible to significantly reduce the possibility of potential threats, as well as to avoid situations associated with vulnerabilities of quantum algorithms. The proposed method is combined. By applying false photon states and creating many traps for intruders, it is possible to achieve such increasing in the resources spent on the attack that will make this attack, in the end, the useless occupation. Any hacker will be much less likely to guess the desired data transfer qubit and the quantum state of polarization. Simulated copies of photons, in addition to their main task, can become bait for any hacker, capable of driving him into the trap, thereby confirming his presence in the communication channel. At the same time, the process of breaking the communication channel will no longer be inevitable, which will avoid interrupting the functioning of the communication line.

Keywords: quantum protocols, quantum cryptography, modification of the BB84 quantum protocol, quantum key distribution, error threshold.

Ляшенко Кирилл Александрович
Донской государственный технический университет
reusn@mail.ru

Поркшеян Виталий Маркосович
К.ф.-м.н, доцент, Донской государственный технический университет
spu-40@donstu.ru

Черкесова Лариса Владимировна
Д.ф.— м.н., Донской государственный технический университет
chia2002@inbox.ru

Ревякина Елена Александровна
К.т.н., Донской государственный технический университет
revyelena@yandex.ru

Енгибарян Ирина Алешаевна
К.т.н., Донской государственный технический университет
eirina@live.ru

Бурякова Ольга Сергеевна
К.ф.н., Донской государственный технический университет
buryakovaos@yandex.ru

Решетникова Ольга Александровна
Российская Таможенная Академия, Ростовский филиал
irina_reshetnikova@mail.ru

Аннотация. Статья привлекает внимание к области квантовой криптографии, а именно, к её конкретному разделу, касающемуся разработке квантовых криптографических протоколов, над созданием которых учёные различных стран работают уже почти сорок лет. Квантовая криптография сегодня рассматривается как технология, способная сформировать новый уникальный облик телекоммуникационных сетей связи будущего. Однако, при этом никто с полной уверенностью не может гарантированно спрогнозировать, как будет выглядеть полностью сформированная инфраструктура квантового интернета, и к какому итогу она может привести. В статье выдвигается новая гипотеза относительно универсального усовершенствования квантовых протоколов, на примере модификации классического квантового протокола BB84. Использование выдвинутой авторами идеи основано на теории рукотворного воссоздания фотонов и их дальнейшего использования, что позволяет значительно снизить возможность осуществления потенциальных угроз, а также избежать ситуаций, связанных с уязвимостями квантовых алгоритмов. Предлагаемый метод является комбинированным. Применяя ложные состояния фотонов и создавая множество ловушек для злоумышленников, можно добиться такого увеличения ресурсов, затрачиваемых на атаку, что делает эту атаку, в итоге, бесполезным занятием. Хакер будет иметь гораздо



Введение

На данном этапе развития информационных технологий квантовые вычисления позволяют не только обеспечить повышенную защиту от несанкционированного доступа к передаваемой информации, но и с более высокой долей вероятности выявить сам факт такой попытки. Этот аспект крайне важен на современном уровне информационного общества, поскольку оно стремится, фактически, к полной цифровизации. Вместе с этим процессом, происходит ускоренная глобальная модернизация как аппаратного, так и программного обеспечения, возрастают нагрузки на техническое оснащение, увеличиваются объёмы информации, в том числе компрометирующей тех или иных людей. При этом неизбежно возрастает количество инцидентов кибербезопасности, модернизируются способы угроз, возникают новые виды кибератак, вызывающих серьёзные проблемы в области информационной безопасности и защиты данных. Поддержание работоспособности технического оснащения в коммуникационных сетях всё более усложняется.

Так, например, недавняя кибератака на Японию (в мае 2022 года) частично парализовало общественную деятельность граждан и вызвало серьёзные проблемы в правительственном аппарате. Другие страны ежесуточно также сталкиваются с подобными случаями, а в некоторых случаях государственные структуры становятся практически беспомощными. Представители многих государств крайне обеспокоены перспективами кибервойн, и гораздо серьёзнее взялись за реализацию процесса перехода на квантовое решение данной проблемы.

Недалек тот момент, когда процесс модернизации средств, имеющихся в арсенале современной кибербезопасности, упрётся в тупик, и тогда переход на квантовые технологии станет повсеместной неизбежностью. Вот почему правительства многих стран возлагают большие надежды на квантовые технологии. Статья направлена на понимание основ работы

меньшую вероятность угадать нужный кубит передачи данных и квантовое состояние поляризации. Смоделированные копии фотонов, помимо своей основной задачи, могут стать приманкой для хакера, способной загнать его в ловушку, тем самым подтверждая его присутствие в канале связи. При этом процесс обрыва канала связи станет уже вовсе не неизбежным, что позволит избежать прерывания функционирования линии связи.

Ключевые слова: квантовые протоколы, квантовая криптография, модификация квантового протокола BB84, квантовое распределение ключа, порог ошибок.

квантового протокола BB84 и его модификаций, на их сравнение в криптостойкости, и на их дальнейшую модернизацию. За пример взяты два хорошо известных протокола: уже устаревший, но по-прежнему конкурентоспособный алгоритм BB84, и его модификация BB84 Info-Z. Понимание основ и принципов работы квантовых протоколов становится необходимостью для многих специалистов в области информационной безопасности. Показаны приоритетные направления развития систем квантового распределения ключей, и на основе законов квантовой механики объясняются методы построения безопасных квантовых протоколов передачи данных.

Предлагаемая методология

Квантовый протокол BB84

Этот протокол назван по фамилиям его создателей и году его первого опубликования [1]. BB84 предназначен для передачи секретной информации, закодированной бинарным образом. На рис. 1 показано, как в BB84 может быть закодирован *бит* в состоянии поляризации фотона.

Двоичный ноль (0) определяется как поляризация 0° в прямолинейном координатном базисе, или 45° — в диагональном базисе. Двоичная единица (1) может быть равна 90° в прямолинейном базисе, или 135° — в диагональном базисе. Итак, бит может быть представлен с помощью поляризации фотона в одном из двух координатных базисов.

На моменте согласования, абоненты канала связи Алиса и Боб утверждают большое целое число n , порог ошибок p_a и линейный код исправления ошибок C , а также матрицу проверки чётности P_C порядка $r \times n$. Согласовываются также линейная функция генерации ключей (для усиления конфиденциальности), представленная матрицей P_K порядка $m \times n$. Эти матрицы могут быть известны заранее, или определены во время выполнения протокола и отправлены по классическому

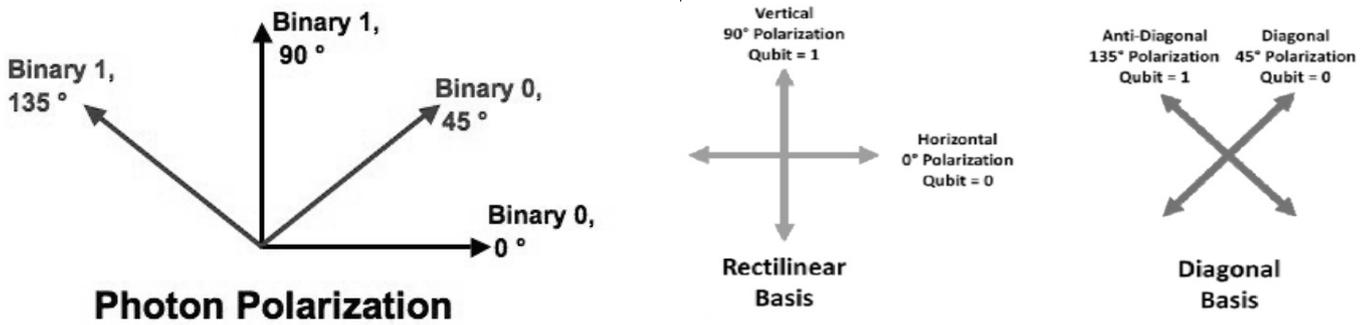


Рис. 1: Битовое кодирование квантового протокола BB84

Бит Алисы	0	1	1	0	1	0	0	1
Базис Алисы	+	+	X	+	X	X	X	+
Поляризация Алисы	↑	→	↖	↑	↖	↗	↗	→
Базис Боба	+	X	X	X	+	X	+	+
Измерение Боба	↑	↗	↖	↗	→	↗	→	→
Проверяемый ключ	0		1			0		1

Рис. 2. Проверяемый ключ

каналу. В свою очередь, матрица $(r + m) \times n$, строки которой являются строками P_C и P_K , вместе взятыми, должна иметь ранг $r + m$. Алиса случайно выбирает последовательности битов: $2n$ -битовые строки $i, b \in F_2^{2n}$, где F_2 обозначает поле из двух элементов с элементами $\{0; 1\}$, то есть поле целых чисел по модулю 2.

Затем кодируется состояние $|i^b\rangle = |i_1^{b_1}\rangle \dots |i_{2n}^{b_{2n}}\rangle$. Для каждого бита, случайным образом выбирается базис, прямолинейный или диагональный, с помощью которого будет кодироваться бит. При передаче фотона от Алисы, Боб будет сообщать ей о получении фотона, но не будет измерять его. Для каждого фотона, который получает Боб, он будет измерять поляризацию фотона на случайно выбранном базисе, применяя к своему состоянию. Если для конкретного фотона Боб выбрал тот же координатный базис, что и Алиса, когда он выполнял преобразование $H^b = H^{b_1} \otimes \dots \otimes H^{b_{2n}}$, то фотон переходит в состояние $|i\rangle = |i_1 \dots i_{2n}\rangle$. Боб должен измерить эту же поляризацию в i^B строке, и, таким образом, корректно вывести бит, который отправила Алиса, в случае отсутствия шума и признаков подслушивания на линии связи.

Для определения подслушивания Алиса случайным образом выберет n бит, которые будут использоваться для обнаружения подслушивания. Путём выбора $2n$ -битной строки, содержащей ровно n единиц, Алиса добивается, чтобы $|s| = n$. Алиса отправляет Бобу публич-

но s бит, таких, что $s_j = 0$, которые используются для тестирования, а остальные — для генерации окончательного ключа. Обозначив соответствующие подстроки i, b , релевантные для тестирования i_s и b_s , в то время как подстроки, релевантные для создания ключа, обозначаются i_s и b_s . Для каждого $j \in [1..2n]$, такого, что $s_j = 0$, Алиса и Боб публикуют значение j -го бита.

Если Боб выбрал неправильный базис, то его результат и, следовательно, бит, который он получил, будут случайными. Стоит отметить, что если несовпадение битов, определённое в опубликованных значениях j -го бита путём сравнения, превышает np_a , то они прерывают выполнение протокола. Предварительно зафиксированный параметр протокола p_a , на самом деле, является соотношением разрешённых переворотов битов для тестирования. Алиса и Боб хранят значения оставшихся n бит в секрете. Строка Алисы обозначается $x = i_s$ и называется *информационной строкой*. Соответствующая цепочка битов на стороне Боба обозначается x^B .

На втором этапе, Боб уведомит Алису по любому незащищенному каналу, какой базис он использовал для измерения каждого фотона. Алиса сообщает Бобу, правильно ли он выбрал базис для каждого фотона. На этом этапе Алиса и Боб отбрасывают биты, соответствующие фотонам, которые Боб измерил с другим базисом. При условии, что ошибок не произошло или

никто не манипулировал фотонами, Боб и Алиса теперь должны иметь одинаковую строку битов, которая называется *просеянным ключом*. В приведенном ниже примере (рис. 2) показаны биты, которые выбрала Алиса; базисы, в которых она их закодировала; а также базисы, которые Боб использовал для измерения. Кроме того, на рис. 2 представлен полученный просеянный ключ, после того этапа, когда Боб и Алиса отбросили свои биты, как было показано выше.

Однако, прежде чем они закончили, Алиса и Боб согласовывают случайное подмножество битов для сравнения, чтобы гарантировать согласованность. Для проверки, Алиса отправляет Бобу r -битовую строку исправления ошибок. Боб будет использовать ξ для сравнения или необходимого исправления своей строки x^B . Строка $\xi = xP_C^T$ называется *синдромом* строки x (относительно P_C). Если биты совпадают, то они отбрасываются, а оставшиеся биты образуют общий секретный m -битовый ключ. В отсутствие шума или любой другой ошибки измерения, несоответствие в любом из сравниваемых битов указывало бы на присутствие перехватчика в квантовом канале. Это связано с тем, что если бы перехватчик Ева пыталась определить ключ, то у неё не было бы другого выбора, кроме как измерить фотоны, посланные Алисой, прежде чем отправлять их Бобу. То есть, Ева присоединяет отдельный зонд, который, как мы предполагаем, находится в чистом состоянии, и применяет унитарное преобразование U_{jk} составной системе. Это верно, потому что теорема о запрете клонирования [2] гарантирует, что Ева не может воспроизвести частицу неизвестного состояния.

Поскольку Ева не будет знать, какие базисы Алиса использовала для кодирования бита, пока Алиса и Боб не обсудят свои измерения, Ева будет вынуждена угадывать. Если она измеряет на неправильных базисах, то принцип неопределенности Гейзенберга гарантирует, что информация, закодированная на других базисах, теперь будет потеряна.

Таким образом, когда фотон достигает Боба, его измерение будет случайным, и он будет считывать некорректную информацию в 50% случаев. Учитывая, что Ева будет неправильно выбирать базис измерения в среднем в 50% случаев, 25% битов, измеренных Бобом, будут отличаться от битов Алисы. Если Ева перехватила все биты, то после n -битных сравнений Алисы и Боба, они уменьшат вероятность того, что Ева останется незамеченной до $\frac{3}{4}n$.

Таким образом, вероятность того, что перехватчик Ева узнала секрет, ничтожно мала, если сравнивается достаточно длинная последовательность битов.

Протокол BB84-INFO-Z

Рассматриваемая модификация BB84, квантовый протокол BB84-INFO-Z является аналогией BB84 [3], за исключением того, что он использует:

- ◆ обобщенные битовые номера n , n_z и n_x (n – информационные битовые номера, Z и X – тестовые биты, соответственно);
- ◆ раздел $P = (s, z, b)$ для разделения N -битной строки i на три непересекающихся набора индексов (I, T_z и T_x);
- ◆ два отдельных порога ($p_{A,z}$ и $p_{A,x}$) вместо одного (p_A).
- ◆ До начала запуска квантового протокола BB84-INFO-Z, Алиса и Боб должны выбрать некоторые общие, или публичные, параметры:
- ◆ номера n , n_z и n_x (обозначим $N = n + n_z + n_x$);
- ◆ пороги ошибок $P_{A,z}$ и $P_{A,x}$, $r \times n$ (соответствующие линейному коду исправлению ошибок C);
- ◆ матрицы усиления конфиденциальности $m \times n$ (представляющие собой функцию генерации линейного ключа).

Важно, чтобы все строки $R+M$ рассмотренных ранее матриц P_C и P_K были собраны таким образом, чтобы они были линейно независимыми.

Алиса, случайным образом, выбирает раздел $\mathcal{P} = (s, z, b)$ N -битных строк, случайно выбирая N -битные строки $s, z, b \in F_2^N$, которые удовлетворяют соотношениям:

$$|s| = n, |z| = n_z, |b| = n_x, \text{ и } |s + z + b| = N.$$

Итак, раздел \mathcal{P} разбивает набор индексов $\{1, 2, \dots, N\}$ на три непересекающихся набора:

- ◆ I (информационные биты, где $s_j = 1$) размера n ;
- ◆ T_z (тестовые Z биты, где $z_j = 1$) размера n_z ; а также
- ◆ T_x (тестовые X биты, где $b_j = 1$) размером n_x .

Алиса случайным образом выбирает N -битную строку $i \in F_2^N$ и отправляет N кубитовых состояний $|i_1^{b_1}\rangle, |i_2^{b_2}\rangle, \dots, |i_N^{b_N}\rangle$, один за другим по квантовому каналу. Алиса использует базис Z для отправки информации тестовых Z -битов, а также базис X для отправки X -битов. Первоначально Боб держит каждый полученный кубит в квантовой памяти, не измеряя его.

Далее Алиса посылает Бобу по классическому каналу битовую строку $b = b_1 \dots b_N$. Боб измеряет каждый из кубитов, которые он сохранил. При измерении i -го кубита, он измеряет его в Z -базисе, если $b_i = 0$, и он измеряет его в X -базисе если $b_i = 1$. Битовая строка, измеренная Бобом, обозначается i^B . Если нет шума и нет подслушивания, то битовая строка равна $i^B = i$.

После этого Алиса посылает Бобу битовую строку s . Информационные биты (которые будут использоваться для создания окончательного ключа) являются n битами $s_j = 1$, в то время как тестовые Z и X биты (которые будут использоваться для тестирования), являются битами $n_z + n_x$ с $s_j = 0$. Подстроки обозначаются i, b , они соответствуют информационным битам i_s и b_s соответственно.

Далее, Алиса и Боб оба публикуют битовые значения, которые они имеют для всех тестовых Z и X битов, а затем сравнивают значения битов. Если большее количество, чем $n_z \cdot p_{a,z}$ тестовых Z -битов у Алисой с Бобом отличается, или больше, чем $n_x \cdot p_{a,x}$ тестовых X -битов отличаются между ними, то они прерывают протокол, где $p_{a,z}$ и $p_{a,x}$ — предварительно согласованные пороги ошибок. Значения оставшихся n битов (INFO биты с $s_j = 1$) Алиса и Боб хранят в секрете. Битовая цепочка Алисы обозначается как $x = i_s$, а битовая строка Боба обозначает x^B .

Алиса посылает Бобу синдром X (в отношении кода исправления ошибок C и его соответствующей проверки чётности матрицы P_C), который состоит из r бит и определяется как $\xi = xP_C^T$. Используя ξ , Боб исправляет ошибки в его строке x^B (так же, как x). Окончательный ключ состоит из m -битов и определяется как $k = xP_K^T$. Алиса и Боб вычисляют биты и ключ в целом.

Очевидно, что оба протокола очень похожи. Рассмотрим их защищённость против коллективных атак [4–5], которые являются одними из самых мощных теоретических атак.

Реализация атаки Евы и описание её свойств

К каждому j -кубиту

$$|i_j^{b_j}\rangle_{\tau_j},$$

посланному Алисой ($1 \leq j \leq N$), Ева присоединяет отдельный зонд, находящийся, как предполагается, в чистом состоянии, и применяет унитарное преобразование U_{jk} составной системе. Затем она сохраняет свои зонды в квантовой памяти для последующего измерения, и отправляет Бобу его часть системы [6]. Для каждого кубита существует определенное пробное гильбертово пространство и определенное U_j ; они заранее определяются Евой и, таким образом, являются фиксированными для всех возможных вариантов выбора i, b и s .

Атака Евы на отдельный кубит

Так как атака является *побитовой*, то можно сосредоточить анализ на некотором фиксированном кубите,

временно отбросив субиндекс j и выразив глобальный эффект действия Евы на конкретный кубит относительно базиса $|0^b\rangle, |1^b\rangle$:

$$U|0^E\rangle|0^b\rangle = |E_{00}^b\rangle|0^b\rangle + |E_{01}^b\rangle|1^b\rangle = |\phi_0^b\rangle \tag{1}$$

$$U|0^E\rangle|1^b\rangle = |E_{10}^b\rangle|0^b\rangle + |E_{11}^b\rangle|1^b\rangle = |\phi_1^b\rangle \tag{2}$$

где $|E_{00}^b\rangle, |E_{01}^b\rangle, |E_{10}^b\rangle$ и $|E_{11}^b\rangle$ представляют собой векторы («ненормированные состояния») в пробном гильбертовом пространстве Евы, соответствующие этому конкретному кубиту. Поскольку U унитарен, $|\phi_0^b\rangle$ и $|\phi_1^b\rangle$ имеют норму 1 и ортогональны. Это значит, что

$$\langle E_{00}^b | E_{00}^b \rangle + \langle E_{01}^b | E_{01}^b \rangle = 1 \tag{3}$$

$$\langle E_{10}^b | E_{10}^b \rangle + \langle E_{11}^b | E_{11}^b \rangle = 1 \tag{4}$$

$$\langle E_{00}^b | E_{10}^b \rangle + \langle E_{01}^b | E_{11}^b \rangle = 0 \quad \langle E_{10}^b | E_{00}^b \rangle + \langle E_{11}^b | E_{01}^b \rangle = 0 \tag{5}$$

Распространение атаки на несколько кубитов — коллективная атака

Для каждого кубита $j \in [1 .. 2n]$ Ева применяет U_j в пространстве $\mathcal{H}_j^E \otimes \mathcal{H}_2$, где \mathcal{H}_j^E — пробное пространство Евы, \mathcal{H}_2 — пространство кубитов. Выраженный относительно точки зрения Евы базис b_j , получается путём отслеживания Боба из состояний

$$|\phi_0^{b_j}\rangle_j \text{ и } |\phi_1^{b_j}\rangle_j,$$

в результате чего получаются следующие матрицы плотности:

$$(\rho_0^{b_j})_j = |E_{00}^{b_j}\rangle_j \langle E_{00}^{b_j}| + |E_{01}^{b_j}\rangle_j \langle E_{01}^{b_j}| \tag{6}$$

$$(\rho_1^{b_j})_j = |E_{10}^{b_j}\rangle_j \langle E_{10}^{b_j}| + |E_{11}^{b_j}\rangle_j \langle E_{11}^{b_j}| \tag{7}$$

Если Алиса отправляет строку i , используя основы b , то глобальное состояние Евы является тензорным произведением этих состояний

$$(\rho_{ij}^{b_j})_j.$$

После раскрытия тестовых битов [7], Еве нужны только те

$$(\rho_{ij}^{b_j})_j,$$

для которых $s_j = 1$. Множество $\{j | s_j = 1\}$ имеет n элементов и является глобальным. Глобальное соответствующее s, b и x , теперь можно записать как:

$$\rho_x^{b_s} = (\rho_{i_{j_1}^{b_{j_1}}})_{j_1} \otimes \dots \otimes (\rho_{i_{j_n}^{b_{j_n}}})_{j_n} = \otimes_{i=1}^n (\rho_{i_{j_i}^{b_{j_i}}})_{j_i} \tag{8}$$

Вероятность ошибки

Если предположить, что кубит подвергается атаке U , как определено в (1) и (2), то ошибка возникает, если Алиса отправляет 0, а Боб измеряет 1, или если Алиса отправляет 1, а Боб измеряет 0. Пусть k будет значением, измеренным Бобом, i – значение, отправленное Алисой для определенного кубита, ab – базис, используемый Алисой для кодирования i .

Тогда вероятность измерения Бобом ошибки выражается

$$p_{\epsilon}^b \triangleq \frac{1}{2} [\langle E_{01}^b | E_{01}^b \rangle + \langle E_{10}^b | E_{10}^b \rangle] \quad (9)$$

Вероятность ошибки в сопряженном базисе

Теперь нас интересует величина $p_{\epsilon}^{\bar{b}}$, где $\bar{b} = 1 - b$ (т.е. $\bar{0} = 1$ и $\bar{1} = 0$) соответствует базису, сопряженному к тому, что дано b . Атака U всегда описывается формулами (1) и (2) в базисе b , но для того, чтобы вычислить вероятность или ошибку, когда Алиса кодирует i_j как $|i_j^{\bar{b}}\rangle$ вместо $|i_j^b\rangle$, теперь нужно выразить U в основе \bar{b} .

Из уравнения (9) известно, что вероятность ошибки для этой ситуации определяется как:

$$p_{\epsilon}^{\bar{b}} = \frac{1}{2} [\langle E_{01}^{\bar{b}} | E_{01}^{\bar{b}} \rangle + \langle E_{10}^{\bar{b}} | E_{10}^{\bar{b}} \rangle].$$

Используя тот факт, что

$$|0\rangle^{\bar{b}} = \frac{1}{\sqrt{2}} [|0^b\rangle + |1^b\rangle], |1\rangle^{\bar{b}} = \frac{1}{\sqrt{2}} [|0^b\rangle - |1^b\rangle]$$

и используя линейность U , из соотношений (1) и (2) выводятся выражения:

$$U|0^E\rangle|0^{\bar{b}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|E_{00}^b\rangle + |E_{10}^b\rangle)|0^b\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} (|E_{01}^b\rangle + |E_{11}^b\rangle)|1^b\rangle, \quad (11)$$

$$U|0^E\rangle|1^{\bar{b}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|E_{00}^b\rangle - |E_{10}^b\rangle)|0^b\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} (|E_{01}^b\rangle - |E_{11}^b\rangle)|1^b\rangle. \quad (12)$$

Заменив $|0^b\rangle$ и $|1^b\rangle$ в правых частях выражений на их значения в терминах $|0^{\bar{b}}\rangle$ и $|1^{\bar{b}}\rangle$, т.е.

$$|0^b\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [|0^{\bar{b}}\rangle + |1^{\bar{b}}\rangle] \text{ и } |1^b\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [|0^{\bar{b}}\rangle - |1^{\bar{b}}\rangle]$$

получаем

$$U|0^E\rangle|0^{\bar{b}}\rangle = \frac{1}{2} [|E_{00}^b\rangle + |E_{10}^b\rangle + |E_{01}^b\rangle + |E_{11}^b\rangle]|0^{\bar{b}}\rangle + \frac{1}{2} [(|E_{00}^b\rangle - |E_{11}^b\rangle) + (|E_{10}^b\rangle - |E_{01}^b\rangle)]|1^{\bar{b}}\rangle \quad (13)$$

$$U|0^E\rangle|1^{\bar{b}}\rangle = \frac{1}{2} [|E_{00}^b\rangle - |E_{11}^b\rangle - |E_{10}^b\rangle - |E_{01}^b\rangle]|0^{\bar{b}}\rangle + \frac{1}{2} [(|E_{00}^b\rangle - |E_{10}^b\rangle - |E_{01}^b\rangle) + |E_{11}^b\rangle]|1^{\bar{b}}\rangle \quad (14)$$

где члены для $|E_{01}^{\bar{b}}\rangle$ и $|E_{10}^{\bar{b}}\rangle$ заключены в скобки, так что очевидно, что

$$p_{\epsilon}^{\bar{b}} = \frac{1}{2} [\langle E_{01}^{\bar{b}} | E_{01}^{\bar{b}} \rangle + \langle E_{10}^{\bar{b}} | E_{10}^{\bar{b}} \rangle] = \frac{1}{4} [\langle E_{00}^b | - \langle E_{11}^b |] (|E_{00}^b\rangle - |E_{11}^b\rangle) + (\langle E_{10}^b | - \langle E_{01}^b |] (|E_{10}^b\rangle - |E_{01}^b\rangle)].$$

Расширим этот результат, используя тождества $\langle \phi | \psi \rangle = \langle \psi | \phi \rangle$ и $z + \bar{z} = 2Re(z)$ для $z \in C$ (здесь над чертой обозначается комплексное сопряжение [8]).

Используя равенства (3) и (4), получаем следующие выражения:

$$p_{\epsilon}^{\bar{b}} = \frac{1}{4} [2 - \langle E_{00}^b | E_{11}^b \rangle - \langle E_{11}^b | E_{00}^b \rangle - \langle E_{01}^b | E_{10}^b \rangle - \langle E_{10}^b | E_{01}^b \rangle] \\ p_{\epsilon}^{\bar{b}} = \frac{1}{2} [1 - Re(\langle E_{00}^b | E_{11}^b \rangle + \langle E_{01}^b | E_{10}^b \rangle)]. \quad (15)$$

Эта формула будет использоваться для связи возмущения, вызванного Евой, когда Алиса кодирует в базисе \bar{b}_j биты i_j , так что $s_j = I$, с информацией, которую Ева может получить, когда Алиса кодирует их в базисе. Следуя принципу «Информация против возмущения» [9], чем больше информации получает Ева, когда кодирование осуществляется в базисе b , тем больше помех она вызывает, когда биты кодируются и проверяются в сопряженном базисе. Следовательно, можно ограничить знания Евы о ключе, ограничив допустимую частоту ошибок в протоколе.

Результаты исследований и их анализ

Доказательство защищённости протокола BB84 от коллективных атак

Выберем код

$$\frac{d_{r,m}}{2n} > p_a + \epsilon$$

для некоторого ϵ ; тогда

$$2m \sqrt{P \left[\left(\frac{|c_I|}{n} \geq \frac{d_{r,m}}{2n} \right) \wedge \left(\frac{|c_I|}{n} \leq p_a \right) \right]}$$

окажется меньше, чем значение

$$P \left[\left(\frac{|c_I|}{n} > p_a + \epsilon \right) \wedge \left(\frac{|c_I|}{n} \leq p_a \right) \right],$$

что само по себе экспоненциально мало по n . Можно применить выборку Хёффдинга из [3] (теорема 10) для каждой конкретной строки $c_1 \dots c_{2n}$, соответствующую

щей измерению всех кубитов в некотором допустимом координатном базисе b . Пусть

$$\bar{X} = \frac{|c_I|}{n}$$

среднее значение выборки, соответствующее ошибочным информационным битам; а

$$\mu = \frac{|c_I| + |c_T|}{2n}$$

математическое ожидание \bar{X} , которое эквивалентно выражению $2\mu - \bar{X} \leq p_a$, или тождественно неравенству $\bar{X} - \mu \geq \mu - p_a$.

Для строк $\left(\frac{|c_I|}{n} > p_a + \epsilon\right)$ и $\left(\frac{|c_T|}{n} \leq p_a\right)$ перепишем условия, как

$$(\bar{X} - \mu > \epsilon + p_a - \mu) \wedge (\bar{X} - \mu \geq \mu - p_a) \quad (16)$$

откуда следует, что используя теорему Хёффдинга [10], получается соотношение:

$$P \left[\left(\frac{|c_I|}{n} > p_a + \epsilon \right) \wedge \left(\frac{|c_T|}{n} \leq p_a \right) \right] \leq P \left[\bar{X} - \mu > \frac{\epsilon}{2} \right] \leq e^{-\frac{1}{2}n\epsilon^2} \quad (17)$$

Нужно быть уверенным, в том, что частота ошибок в информационных битах будет меньше максимальной скорости, с которой эти ошибки может обработать код с исправлением ошибок. Это условие необходимо для доказательства надёжности ключа.

Доказательство защищённости протокола BB84-Info-Z от коллективных атак

Общая коллективная атака Евы

Допустим, что перед выполнением протокола квантового распределения ключей (КРК), Ева выбирает коллективную атаку [3].

Дан j -й кубит, отправленный Алисой Бобу. Ева присоединяет состояние зонда, и применяет некоторый унитарный оператор U_j к составной квантовой системе.

Затем, Ева держит у себя в квантовой памяти подсистему E_j , которая является её состоянием зонда; далее, она посылает Бобу подсистему T_j , которая является кубитом, отправленным от Алисы к Бобу (возможно, эта подсистема была изменена атакой Евы унитарным оператором U_j).

Наиболее общей коллективной атакой U_j Евы на j -й кубит, представленный на ортонорматической основе, является атака, описываемая, выражениями:

$$U_j |0^E\rangle E_j |0^{b_j}\rangle T_j = |E_{00}^{b_j}\rangle E_j |0^{b_j}\rangle T_j + |E_{01}^{b_j}\rangle E_j |1^{b_j}\rangle T_j \quad (18)$$

$$U_j |0^E\rangle E_j |0^{b_j}\rangle T_j = |E_{10}^{b_j}\rangle E_j |0^{b_j}\rangle T_j + |E_{11}^{b_j}\rangle E_j |1^{b_j}\rangle T_j, \quad (19)$$

где $|E_{00}^{b_j}\rangle E_j$, $|E_{01}^{b_j}\rangle E_j$, $|E_{10}^{b_j}\rangle E_j$, и $|E_{11}^{b_j}\rangle E_j$ —

ненормированные состояния в системе зонда Евы E_j , прикрепленные к j -му кубиту.

Таким образом, очевидно, что описанная атака может изменить исходное состояние составной системы,

$$|0^E\rangle E_j |i_j^{b_j}\rangle T_j,$$

и привести его в запутанное состояние, что означает, что атака Евы может вызвать запутывание своего зонда с зондом Боба.

С одной стороны, это даёт некоторую информацию о состоянии Боба; с другой стороны, это вызывает нарушение, которое может быть обнаружено им же. Информация, полученная накануне, и возмущение, вызванное Евой, по своей природе устанавливает их взаимосвязь. По этой причине протоколы квантового распределения ключей являются безопасными.

Доказательство безопасности протокола BB84-Info-Z от коллективных атак

Как упоминалось ранее [3], случайная величина \check{C}_I соответствует битовой строке ошибок в битах INFO, если они были закодированы в базисе X . Биты TEST- X также кодируются в базисе X , а случайная величина C_{TX} соответствует строке битов ошибок на этих битах. Следовательно, выбор индексов n -битов INFO и n_x -битов TEST- X можно рассматривать как случайную выборку (после того, как числа n , n_z и n_x ; и индексы битов TEST- Z уже выбраны) и использовать теорему Хёффдинга [4].

Таким образом, для каждой битовой строки $c_1 \dots c_{n+n_x}$ состоящей из ошибок в $n + n_x$ битах INFO и TEST- X , если биты INFO были закодированы в базисе X , можно применить теорему Хёффдинга. Для этого следует взять образец размера n без замены из совокупности c_1, \dots, c_{n+n_x} . Фактически, доказывается следующая теорема [3]:

Теорема. Пусть даны $\delta > 0, R > 0$, и для бесконечного числа значений n семейство линейно независимых векторов $\{v_1^n, \dots, v_{r_n+m_n}^n\}$ таково, что

$$\delta < \frac{d_{r_n, m_n}}{n} \text{ и } \frac{m_n}{n} \leq R.$$

Тогда, для любых $p_{a,z}, p_{a,x} > 0$, таких, что

, и для любых $n, n_z, n_x > 0$, а также двух m_n -битовых финальных ключей k, k' , расстояние между состояниями Евы, соответствующими k и k' , удовлетворяет следующей границе:

$$\langle \Delta_{Eve}^{(p_{a,z}, p_{a,x})}(k, k') \rangle \leq 2Rne^{-\left(\frac{n_x}{n+n_x}\right)^2 n \epsilon_{sec}^2}. \quad (20)$$

Надежность протокола BB84-Info-Z

Сама по себе безопасность квантового протокола недостаточна; также необходимо, чтобы надёжным был ключ (а именно, чтобы он был одинаковым для Алисы и Боба) [11]. Это означает, что нужно убедиться, что количество ошибок в битах INFO меньше максимального количества ошибок, которое может быть исправлено кодом исправления ошибок. Для этого необходимо, чтобы код исправления ошибок был способен исправить ошибки. Отсюда следует, что надёжность финального ключа, с экспоненциально малой вероятностью отказа, гарантируется неравенством:

$$P \left[\left(\frac{|c_1|}{n} > p_{a,z} + \epsilon_{rel} \right) \wedge \left(\frac{|c_{Tz}|}{n_z} \leq p_{a,z} \right) \right] \leq e^{-2 \left(\frac{n_z}{n+n_z} \right)^2 n \epsilon_{rel}^2} \quad (21)$$

Выбор индексов INFO-битов и битов TEST-Z – это случайное разделение $n + n_z$ битов на два подмножеств, размеров n и n_z (при условии, что индексы битов TEST-X уже были выбраны), что соответствует выбору Хэффдинга.

Разработка квантового протокола CSLOE-2022 как новой модификации BB84

Теперь предлагаем читателю ознакомиться с новой модификацией, предложенной авторами и получившей наименование CSLOE-2022, для старого, но всё ещё результативного квантового протокола BB84, использующего квантовое распределение ключей.

В протоколе BB84 можно, в значительной мере, улучшить криптостойкость и степень запутываемости атакующего хакера-прослушателя, что способно усложнить возможность перехвата информации в результате кибератаки, нацелившейся на конфиденциальные сообщения.

Известно [11], что после согласования базисов в классическом протоколе BB84, перехватчик может получить точную информацию о передаваемом состоянии.

Конечной целью описываемой модификации является усложнение процесса подслушивания, до состояния его бесполезности, в плане затрачивания времени и ресурсов, а также подтверждения гипотезы о реальной возможности использования этого метода.

Идея состоит в следующем: известно, что процесс репликации состояния, записываемый как ψ и известный, как клонирование, может быть выполнен идеально с вероятностью 1 тогда и только тогда, когда известен базис, которому принадлежит ψ [12]. В противном случае, идеальное клонирование невозможно, так как копии получаются не идеальными. Таковы содержание и следствия теоремы о запрете клонирования квантовой информации.

Это обстоятельство может оказаться полезным. При невозможности воспроизвести точный клон фотона, для того чтобы получить информацию из него, необходимо провести измерение характеристик оригинала. Единственным способом измерить характеристики фотона является использование детектора одиночных фотонов. Но как только фотон попадает на детектор, он передаёт энергию и исчезает, то есть измерение уничтожает сам фотон [4]. Нужно учитывать, что каждый фотон уникален [13]. Однако можно создать некое подобие фотона. Известно, что благодаря квантовой телепортации можно получить точную копию фотона [12], которую, в свою очередь, также можно использовать для конструирования такого подобия. Для простоты назовём его *псевдо-фотоном*. Перехватчик будет воспринимать такой псевдо-фотон либо как настоящий фотон со своим специфичным набором характеристик, либо как искажение в канале. А для обнаружения и опознавания такого клона в канале связи необходимо приложить немалые усилия.

Теоретически, на первом этапе, как и в классическом протоколе BB84, Алиса будет общаться с Бобом по квантовому каналу связи. В свою очередь, Алиса будет передавать Бобу изменённую последовательность, состоящую из клонированных псевдо-фотонов, и формирующую словарь для каждого бита с соответствующей поляризацией. Как упоминалось ранее, псевдо-фотон представляет собой некое подобие фотона, созданного искусственно [4]. В каждом конкретном случае возможно формирование новых последовательностей, формирующих динамический словарь, тем самым снижая повтор при шифровании, учитывая уникальность каждого фотона [13]. Для каждого бита может быть использован не один псевдо-фотон, а целая группа, с определённым диапазоном значений, который будет корректироваться, смещаться или расширяться [14]. Каждый бит, или их последовательность, даже если они повторяются, будут иметь случайные псевдо-фотоны из определённого диапазона значений, которые приписаны биту или битовой последовательности.

При отправке словаря для декодирования можно пересылать его частями, во избежание полного рассекречивания словаря. При обнаружении прослушива-

Таблица 1. Просеянный ключ

Бит Алисы	0	1	1	0		1	0	0	1
Базис Алисы	x	+	+	x		+	x	+	x
Поляризация Алисы	↗	↑	→	↘		→	↘	↑	↗
Базис Боба	x	x	x	+		+	x	+	+
Измерение Боба	↗	↘	↗	→		→	↘	↑	→
Обсуждение	x	+	+	*		+	x	+	*
Просеянный ключ	0					1	0	0	



Рис. 3. Результаты работы протокола CSLOE-2022, где источник ЭПР представляет собой источник фотонов, предложенный Эйнштейном–Подольским–Розеном

ния, на данном этапе словарь можно расширить, а перехваченную часть не использовать [15], или временно прекратить передачу данных и сформировать новый словарь. После успешной передачи словаря, можно начать отправку закодированных сообщений по каналу связи, в котором настоящие фотоны, как и созданные их копии, будут чередоваться, и иметь абсолютно случайные позиции в последовательности. Стоит отметить, что данный протокол можно дополнительно усложнить.

Например, можно использовать четыре квантовых состояния для кодирования битов в двух базисах, что соответствует протоколу BB84(4+2) [16]. Далее, такой протокол работает по классическому сценарию, но с использованием словаря.

Каждый раз, когда Боб получает кубит, он сообщает об этом Алисе, но не измеряет его. Впоследствии, для каждого фотона и псевдо-фотона, который получает Боб, он будет измерять поляризацию на случайно выбранной основе, применяя её к своему состоянию. Если для конкретного фотона Боб выбрал ту же базу состояния, то, когда он выполняет H^b , что и Алиса, то он переходит в то же состояние. Боб должен измерить ту же

поляризацию в i^B строке, таким образом, он может правильно вывести бит, который Алиса намеревалась послать, в случае если, в канале связи нет шума и признаков подслушивания.

На втором этапе Боб должен уведомить Алису, по любому незащищенному каналу связи, какой базис он использовал для измерения каждого фотона. Алиса сообщает Бобу, какие фотоны были настоящими, путём отправки зашифрованных диапазонов, а также ставит его в известность, правильно ли он выбрал базис для каждого оригинального фотона. На этом этапе Алиса и Боб отбрасывают биты, соответствующие псевдо-фотонам, и биты, которые Боб измерял с другим базисом. При условии, что ошибок не произошло, и никто не манипулировал фотонами, Боб и Алиса должны получить одинаковую строку битов, являющуюся *просеянным ключом*. В приведенном примере (рис. 3, табл. 1) показаны биты, выбранные Алисой; базисы, в которых она их закодировала; а также базисы, которые Боб использовал для измерения. Показан полученный просеянный ключ, после того как Боб и Алиса отбросили свои биты, упомянутые выше.

Принцип неидеальной репликации часто применяется в практике телекоммуникаций. Информация, пере-

даваемая в оптоволокне, кодируется в состоянии света, поэтому этот процесс является *квантовым кодированием* [17]. Эта информация усиливается в несколько раз от источника до приёмника, поэтому её качество со временем неминуемо ухудшается.

Однако телекоммуникационный сигнал состоит из большого количества фотонов, приготовленных в одном и том же квантовом состоянии. Усиление в телекоммуникациях сводится к созданию некоторых новых копий ψ из $\psi \otimes N$. Иначе говоря, теорема о запрете клонирования применима к усилению телекоммуникационных сигналов, потому что в усилителях всегда присутствует спонтанное излучение. Копия почти идеальна, потому что стимулированное излучение является доминирующим эффектом. Чувствительность современных устройств достаточно высока, и на данном этапе такова, что квантовый предел может быть достигнут в обозримом будущем.

Таким образом, кодирование информации, подчиняющееся теореме о запрете клонирования, может быть полезно и для протоколов квантового распределения ключей [18]. Невозможность точного копирования квантовой информации не отменяет всей концепции квантовой информации. Напротив, он служит иллюстрацией его силы. Невозможно полностью скопировать состояние квантовой системы для умного кодирования информации, которое использует набор не ортогональных состояний. Следовательно, если такая система доходит до приёмника невозмущенной, то это доказывает, что она не была скопирована ни одним перехватчиком. Это означает, что, из-за теоремы о запрете клонирования, квантовая информация предоставляет средства для выполнения некоторых задач, которые были бы невозможны при использовании только обычной информации. Например, обнаружение любого подслушивающего устройства на канале связи возможно только с применением идей квантовой криптографии.

Методы клонирования

Рассмотрим возможные методы неидеального клонирования дискретных квантовых систем, чем и является протокол BB84. Существует несколько вариантов таких машин:

1. Оптимальная симметричная универсальная квантовая копировальная машина (УККМ), предложенная Владимиром Бужеком–Марком Хиллери (БХ) в 1996 г.;
2. Симметричная УККМ, предложенная Никола Гизеном–Сержем Массаром в 1997 году;
3. Ассиметричная универсальная квантовая копировальная машина — УККМ.

Симметричная УККМ для 1 2 клонирования кубитов, разработанная Бужеком и Хиллери, принимает клонируемый кубит на вход, и использует отдельный кубит в качестве вспомогательного кубита [19]. Действие такой машины в вычислительной базе исходного кубита описывается выражением:

$$\begin{aligned} |0\rangle|R\rangle|M\rangle &\rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}}|0\rangle|0\rangle|1\rangle - \\ &- \sqrt{\frac{1}{3}}|\psi^+\rangle|0\rangle(-|1\rangle)|E\rangle|M\rangle \rightarrow \\ &\rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}}|1\rangle|1\rangle|0\rangle - \sqrt{\frac{1}{6}}|\psi^+\rangle|1\rangle \end{aligned} \quad (22)$$

с $|\psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[|1\rangle|0\rangle + |0\rangle|1\rangle]$. По линейности, эти два соотношения индуцируют следующее действие на наиболее общее входное состояние $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle|R\rangle|M\rangle &\rightarrow \\ &\rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}}|\psi\rangle|\psi\rangle|\psi^\perp\rangle - \sqrt{\frac{1}{6}}[|\psi\rangle|\psi^\perp\rangle + |\psi^\perp\rangle|\psi\rangle]|\psi\rangle \end{aligned} \quad (23)$$

где $|\psi^\perp\rangle = \alpha * |1\rangle - \beta * |0\rangle$.

Как видно из уравнения (23), α и β можно поменять местами. Кроме того, преобразование имеет одинаковую форму для всех входных состояний $|\psi\rangle$.

Таким образом, такая квантовая копировальная машина (ККМ) является симметричной и универсальной. Её частичные состояния для оригинала и копии:

$$\rho_\alpha = \rho_\beta = \frac{5}{6}|\psi\rangle\langle\psi| + \frac{1}{6}|\psi^\perp\rangle\langle\psi^\perp| = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2}{3}\hat{m} + \hat{\sigma}\right). \quad (24)$$

Симметричная УККМ для $N \rightarrow M$ кубитов была открыта Гизеном и Массаром в 1997 году. Она обобщает УККМ Бужека–Хиллери, и её правильность определяется выражением:

$$F_{N \rightarrow M} = \frac{MN+M+N}{M(N+2)} \quad (d = 2), \quad (25)$$

которое воспроизводит $F_{1 \rightarrow 2} = \frac{5}{6}$ для $N = 1$ и $M = 2$. Гизен и Массар дали численные доказательства оптимальности своей универсальной квантовой копировальной машины. Позже аналитическое доказательство оптимальности было дано Дагмаром Брюссом, Артуром Эккертом и Киаром Маккиавелли в 1998 году, которые предположили, что выходное состояние принадлежит симметричному подпространству из M кубитов. Результат далее был обобщен Рейнхардом Вернером для систем любой размерности [20].

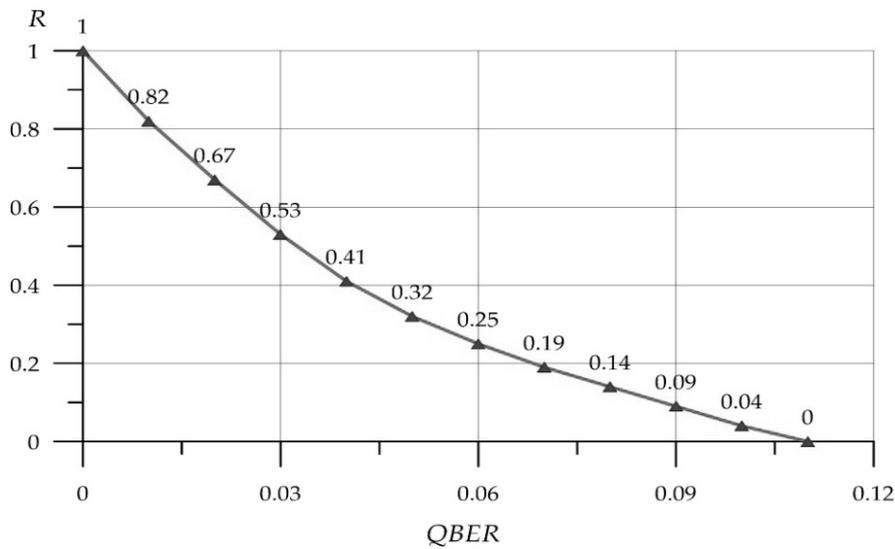


Рис. 4. Порог ошибок для BB84

Асимметричное универсальное клонирование относится к ситуации, когда выходные клоны могут иметь разную точность воспроизведения.

Здесь следует сосредоточиться на универсальном клонировании $1 \rightarrow 1 + 1$. Изучение более общих случаев было предпринято несколькими исследователями в 2004–2005 г.г.

Рассмотрим некоторые из этих идей ниже вместе с их экспериментальной реализацией. В своем всестороннем исследовании клонирования $1 \rightarrow 1 + 1$, Чи-Шенг Ниу и Роберт Гриффитс в 1998 г. получили, в частности, оптимальную асимметричную УККМ $1 \rightarrow 1 + 1$.

Тот же результат независимо получил Николас Серф в 1998–2000 г.г., который использовал алгебраический подход, а также Владимир Бужек и Марк Хиллери в 1998 г. [21], которые разработали подход квантовых схем, улучшенный по сравнению с предыдущей конструкцией для симметричного клонирования. Оптимальность демонстрируется путём доказательства того, что верность двух клонов, F_α и F_β , насыщает неравенство не клонирования:

$$\sqrt{(1 - F_\alpha)(1 - F_\beta)} \geq \frac{1}{2} - (1 - F_\alpha) - (1 - F_\beta). \quad (26)$$

Тем же авторам удалось расширить разработку своих схем далеко за пределы отдельного случая кубита, и распространить на любое их количество. Исходя из вышесказанного, для улучшения крипто стойкости протокола BB84 лучше всего подходит УККМ Бужека–Хиллери, как наиболее простая в реализации квантовая копирувальная машина из рассмотренных выше.

Сравнение протоколов

Поскольку квантовые протоколы BB84, BB84–INFO–Z и предложенная авторами модификация CSLOE-2022 имеют много общего, то можно выделить ряд параметров для их сравнения. Начнём со сравнения порога ошибок. Данный параметр необходим, чтобы определить, был ли осуществлён перехват информации, или попытка подслушивания. В практической реализации протокола квантового распределения ключа всегда будут проявляться недостатки отдельных компонентов, и некоторые кубиты будут непригодны для формирования секретного ключа. Помимо этого, попытки прослушивания квантового канала вносят изменения в передаваемые кубиты, что также не позволяет использовать их при формировании секретного ключа.

В случае с классическим протоколом BB84, пороговое значение частоты ошибок составляет 11% [22]. Для идеальной модели, количество битов окончательного секретного ключа (R) на один бит просеянного ключа выражается формулой

$$R = 1 - 2 H(QBER), \quad (27)$$

где H — двоичная Шенноновская энтропия, а $QBER$ — количество ошибок, измеренных Бобом. Зависимость R от $QBER$ представлена на рис. 4: Она не обязательно должна быть такой. Качество исполнения аппаратуры, реализующей протокол, позволит снизить порог в меньшую сторону.

В протоколе BB84–INFO–z, помимо информационных кубитов, отвечающих за генерацию ключа, исполь-

Таблица 2. Сравнительные характеристики протоколов по порогу ошибок

Протокол	Порог ошибок
BB84	11%
BB84-INFO-Z	7,56%
CSLOE-2022	~11%

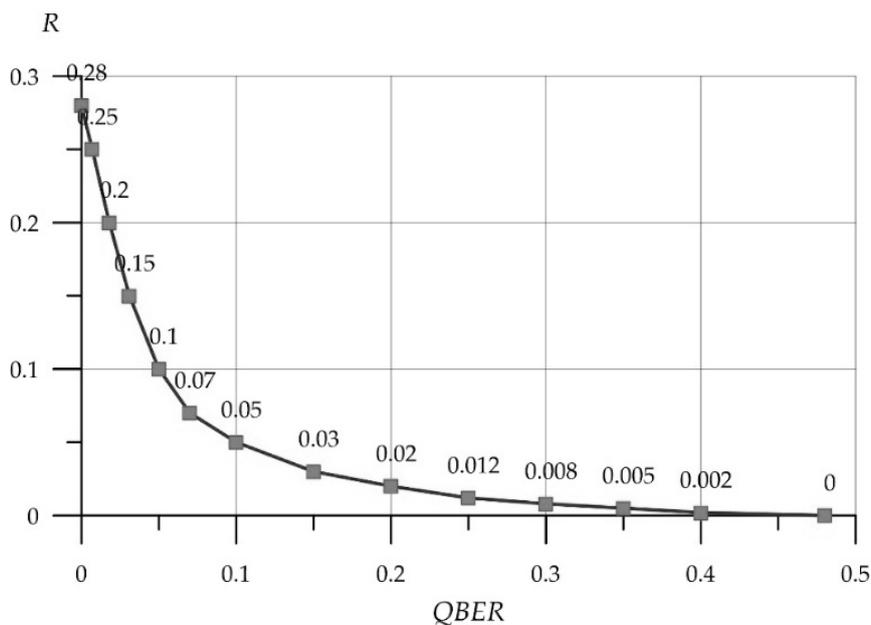


Рис. 5. Безопасная зона асимптотических скоростей ошибок для BB84-INFO-Z

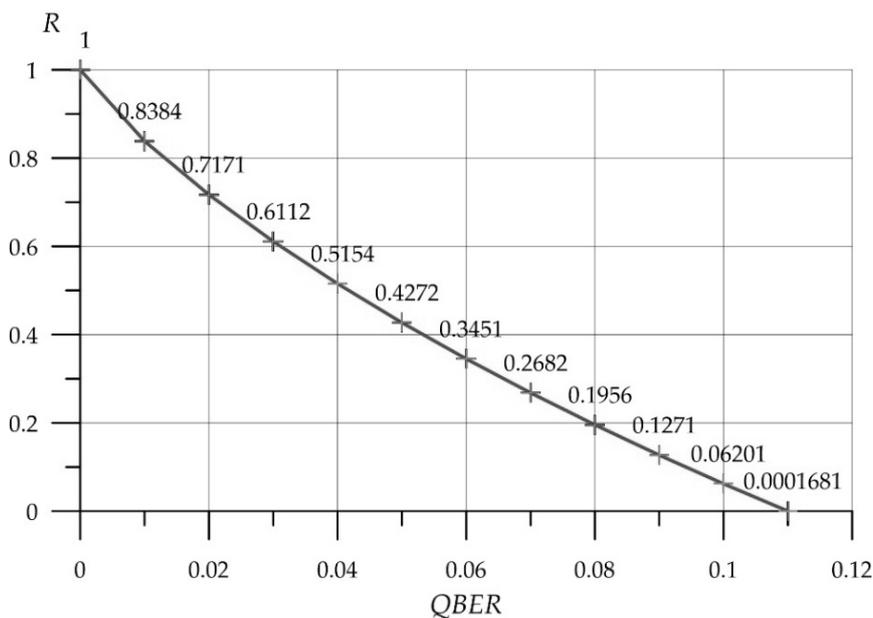


Рис. 6. Порог ошибок для протокола CSLOE-2022

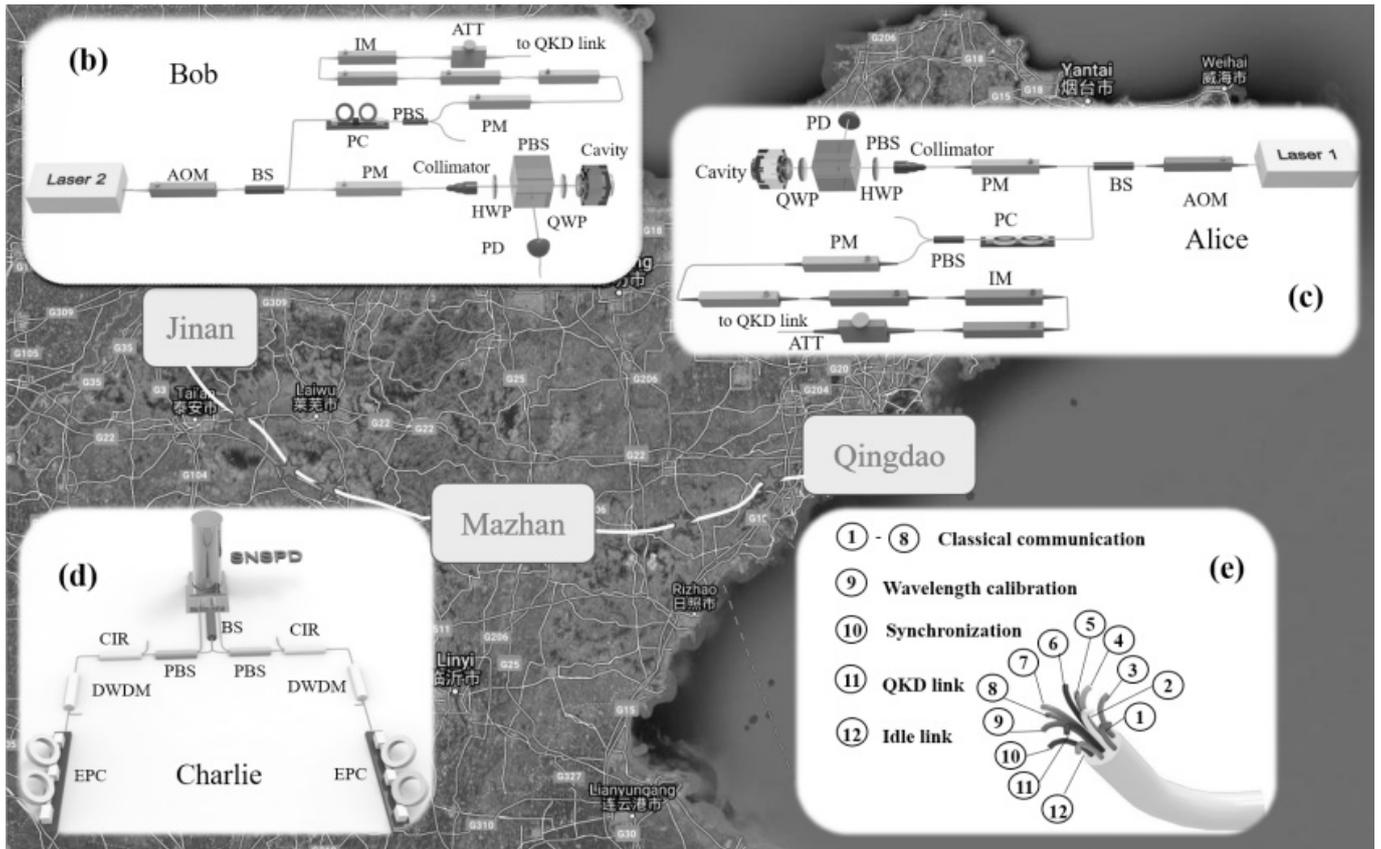


Рис. 7. Провинции Китая, соединенные оптоволоконной сетью протяженностью 430 км.

зуются тестовые кубиты X и Z [2], необходимые для проверки на попытки перехвата — прослушивания. Порог ошибок для этой модификации иной, и отличается в меньшую сторону. Он составляет не более 7,56% [4], как показано на рис. 5.

Для предлагаемой авторами модификации (CSLOE-2022), порог ошибок, теоретически, аналогичен оригинальному, поскольку в ходе формирования ключа неидеальные копии фотонов, используемые для запутывания прослушивающего перехватчика, отбрасываются и далее проверяются оригиналы, как в классическом протоколе. С другой стороны, при попытке прослушивания искажение именно фотонов маловероятно, поскольку их значительно меньше, чем их копий, псевдо-фотонов. Из работы [12] известно, что код Стина (CSS) позволяет на практике закодировать

$$[1 - 2 * H(\delta)]n \tag{28}$$

кубитов, где δ — количество измеренных ошибок, а n — длина последовательности кубитов. Если записать формулу (28) как: $f(x) = 1 - 2 * H(x)$, то график пересечёт ось X в точке 0,11, что и даёт порог ошибок в 11% в классическом квантовом протоколе BB84 [23].

Для протокола CSLOE-2022 зависимость количества битов окончательного секретного ключа R от количества зафиксированных ошибок $QBER$ сохраняется, как показано на рис. 6, поскольку искажению при передаче подвергнутся все фотоны: и оригинальные, и их копии в виде псевдо-фотонов. Сравнение протоколов по порогу ошибок можно наблюдать в табл. 2:

Квантовый протокол BB84-INFO-Z отличается в лучшую сторону от остальных исследуемых протоколов, поскольку более низкий порог ошибок позволяет перехватчику Еве получить значительно меньше информации о просеянном секретном ключе.

Ещё одним немаловажным параметром является рабочее расстояние. Протоколы квантового распределения ключа оперируют одиночными фотонами, которые при передаче могут исказиться. Поэтому рабочее расстояние относительно невелико.

Например, для BB84 это расстояние составляет около 70 км [24]. При реализации протоколов DPS и COW удалось достичь 250 и 307 км соответственно, однако их безопасность ещё не доказана. В свою очередь, команде китайских физиков: Цзю-Пэн Чен, Чи Чжани др.

Таблица 3. Рабочее расстояние протоколов.

Протокол	Рабочее расстояние
BB84	70 км
BB84-INFO-Z	70 км
CSLOE-2022	511 км

удалось передать секретный квантовый ключ на расстоянии 511 километров в реальных условиях [19]. Они смогли реализовать квантовую линию передачи данных не в лабораторных условиях, а в реальных между двумя городами. Схема квантовой линии представлена на рис. 7.

Физики продолжают искать разные способы увеличить расстояние до сотен и тысяч километров, занимаясь разработкой повторителей для существующих протоколов, а также разрабатывают новые, например, протокол полей-близнецов TF (TwinField). В отличие от стандартного протокола BB84, в котором Алиса напрямую отправляет Бобу фотоны, протокол TF [25] включает в себя дополнительный узел Чарли, который находится между Алисой и Бобом.

Предварительное моделирование квантовой линии связи показало, что производительность метода может превзойти ограничение по ёмкости секретного ключа, и при этом сохранить как безопасность, так и эффективность. Сам эксперимент SNS-TF-QKD с полевым оптоволоконным показывает, что между китайскими провинциями Циндао, который выступает в качестве Алисы, и Цзинань, выступающим в качестве Боба, были расположены экспериментальные установки.

На соответствующих станциях, килогерцовый волоконный лазер с непрерывной волной накачки был подключен к резонатору со сверхнизким коэффициентом расширения. В свою очередь, источником света является акустический оптический модулятор. Лазер был синхронизирован по частоте, и применялся для выполнения кодирования с помощью двух фазовых модуляторов и трёх модуляторов интенсивности.

Закодированные импульсы при помощи аттенюатора ослабляются до однофотонного состояния, а затем отправляются на измерительную станцию с контролером поляризации.

На промежуточной станции (Мажан, выступающей в роли Чарли) производится настройка для двух контролеров поляризации, а также ведётся обратная связь в режиме реального времени, с данными о поляризации импульсов между станциями Циндао (Алиса) и Цзинань (Боб). Для фильтрации утечек в канале и нелинейных

рассеиваний импульсов используются мультиплексоры. В рамках эксперимента использовался оптоволоконный кабель, состоящий из 12 волокон, для передачи сигнала однофотонного состояния линии связи, для синхронизации и фиксации оптической частоты между лазерами станций Алиса и Боб соответственно. Разделяя излучение на две части, где одна часть предназначена для передачи квантового сигнала, а другая — для захвата длины волны, в рамках эксперимента фиксируются 2 лазера на расстоянии более 400 км в оптоволоконном канале на 84,1 дБ с 6 оптическими усилителями EDFA между ними. Условный дрейф частоты между двух источников составляет примерно 0,1 Гц/с, что даёт суммарную разность фаз около $\pi/60$ в час. Следовательно, вместо калибровки длины волны, более значительным является калибровка разницы длин волн в час, что является вполне приемлемой характеристикой для показательного эксперимента. Соответственно, при более подходящих настройках достигается результат вплоть до расстояния в 511 километров.

В этом случае Алиса и Боб осуществляют передачу по слабому когерентному импульсу Чарли, который сравнивает их и объявляет, совпали ли полученные биты или нет. Но у Чарли отсутствует информация о пришедших к нему битах, и он может только сравнивать их и объявлять, совпали они в данный момент или нет, поэтому Чарли оказывается не доверенным узлом.

Такой подход позволяет превысить известный предел скорости генерации ключей без повторителей. Он использует два источника, стабилизировать фазы которых, как и сотен километров волокна между ними, оказывается непростой задачей.

Можно подытожить сравнение квантовых протоколов по рабочему расстоянию (табл. 3):

Вывод

Авторы показали, что квантовый протокол BB84-INFO-Z полностью защищен от коллективных атак. Обнаружено, что результаты работы протокола BB84-INFO-Z имеют много общего с протоколом BB84, за двумя существенными исключениями:

1. Частота ошибок должна проверяться отдельно, чтобы она была ниже пороговых значений $p_{a,z}$

и $p_{a,x}$ для битов TEST-Z и TEST-X, соответственно, в то время как в протоколе BB84 пороговое значение частоты ошибок p_a применяется ко всем битам TEST совместно [2].

- Показатели информации Евы (безопасность) и вероятности отказа исправляющего ошибки кода (надёжность) отличаются от показателей в случае с классическим BB84 [3].

Можно сделать вывод, что даже если изменить квантовый протокол BB84, чтобы биты INFO были только в основе Z, то это не ослабит его безопасность и надёжность (по крайней мере, против коллективных атак) и не поменяет порога асимптотической частоты ошибок [3].

Протокол BB84-INFO-Z можно безопасно использовать для распространения просеянного секретного ключа; его безопасность имеет идеальную реализацию против возможных коллективных атак перехватчиков, прослушивающих каналы связи.

Показано, что предлагаемая авторами модификация классического квантового протокола BB84 (CSLOE-2022) вполне могла бы применяться для квантового распределения ключей, поскольку применяемый принцип неидеального копирования не нарушает законов физики,

но позволяет значительно повысить крипто стойкость протокола.

Пока что эта модификация является гипотезой, и её необходимо доказать серией практических экспериментов с использованием специфического оборудования. Известно, что принцип неидеального копирования уже давно экспериментально применяется в каналах связи, что описано в публикациях [26–40], что позволяет передавать информацию на значительно большие расстояния. Однако для квантового распределения ключей существуют иные требования по качеству исполнения отдельных компонентов. Поэтому, специалистами в области квантовой физики выдвигаются новые идеи и гипотезы, а перед инженерами ставятся специфические и конкретные задачи проверки и доказательств справедливости подобных гипотез.

Далее авторы ставят перед собой задачу исследования квантовой оптической памяти на основе фотонов и псевдо-фотонов, на предмет возможности записи в них информации. Основываясь на полученных данных, необходимо выявить теоретические ограничения, а также найти способы их нивелирования и нейтрализации, соответственно, как для фотонов, так и для воссозданных копий на их основе — псевдо-фотонов.

ЛИТЕРАТУРА

- Bennett, C.H.; Brassard, G. Quantum Cryptography: Public key distribution and coin tossing. Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing 1984.
- Park J. The Concept of Transition in the Quantum Mechanics. (1970).
- Boyer M.; Liss R.; Mor T. Composable Security against Collective Attacks of Modified BB84 QKD Protocol with Information Only in One Basis. Theoretical Computer Science. 2019.
- Biham, E.; Mor, T. Security of quantum cryptography against collective attacks. Physical Review Letters 1997.
- Boyer M.; Gelles R.; Mor T. Security of the Bennett–Brassard Quantum Key Distribution Protocol against Collective Attacks. 2009.
- Vercruyse D.; Sapiro N., Yang K., etc. Inverse-Designed Photonic Crystal Devices for Optical Beam Steering. E.L. Ginzton Laboratory, Stanford University. 2021.
- Buckley S., Radulaski M., Zhang J., etc. Nonlinear Frequency Conversion Using High Quality Modes in GaAs Nanobeam Cavities. Ginzton Lab., Spilker Engineering and Applied Sciences Building, Stanford University, 2014.
- Cerf N., Ipe A., Rottenberg X. Cloning of Continuous Quantum Variables. Ecole Polytechnique, CP 165, Université Libre de Bruxelles, 2000.
- Fuchs C.; Peres, A. Quantum–State Disturbance versus Information Gain: Uncertainty Relations for Quantum Information. Physical Review. 1996. 53. 2038–2045.
- Skoric B.; Wolfs Z. Diagrammatic Security Proof for 8–State Encoding. arXiv:2103.01936v1. 2021.
- Morimae T. Quantum Randomized Encoding, Verification of Quantum Computing, No-Cloning, and Blind Quantum Computing. Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University/ 2020.
- Schimpf C., Reindl M., Huber D., etc. Quantum Cryptography with Highly Entangled Photons from Semiconductor Quantum Dots. arXiv:2007.12726v1. 2020.
- Tan X. Introduction to Quantum Cryptography, (2013). DOI:10.5772/56092.
- Shor P. and Preskill J., Simple Proof of Security of the BB84 Quantum Key Distribution Protocol (2000). AT&T Labs Research, Florham Park, New Jersey 07932.
- Huttner B.; Imoto N., Gisin N., etc. Quantum Cryptography with Coherent States (1995). <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.51.1863>.
- Djordjevic I. Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction. 2021.
- Quantum Teleportation — Overview | ScienceDirect Topics.
- Quantum Teleportation of Particles in an Environment.
- Chen J.; Zhang C.; Liu Y. et al. Twin-Field Quantum Key Distribution over 511 km Optical Fiber Linking two Distant Metropolitan, 2021.

20. This is Condensed Version of Report from Live Science. <https://www.nbcnews.com/science/weird-science/scientists-are-beaming-over-quantum-teleportation-record-n264726>
21. Жизан Н. Квантовая случайность. Не локальность, телепортация и другие квантовые чудеса. М: Альпина нон-фикшн, 2018, 208 с.
22. Родина О.В. Волоконно–оптические линии связи. М: «Горячая линия–Телеком». 2018.
23. Atom–to–Photon State Mapping by Quantum Teleportation.
24. Козубов А.В., Гайдаш А.А., Кынев С.М. и др. Основы квантовой коммуникации: Ч. 1. 2019.
25. Lucamarini M., Yuan Z., Dynes J., et al. Overcoming the Rate–Distance Limit of Quantum Key Distribution without Quantum Repeaters, 2018.
26. Probabilistic and Controlled Teleportation of Unknown Quantum States. Phys. Lett. A (2003).
27. Quantum Hyper Entanglement and its Applications in Quantum Information Processing. Sci. Bull. (2017).
28. Quantum Teleportation of Three and Four-Qubit State Using Multi-Qubit Cluster States. International Journal of Theoretical Physics (2016)
29. Blunt N.S., Camps J., Crawford O., et al. Perspective on the Current State-of-the-art of Quantum Computing for Drug. Discovery Applications, 2022.
30. Chamberland C., Noh K., Arrangoiz-Arriola P., et al., Building the Fault-Tolerant Quantum Computer Using Concatenated Cat Codes, PRX Quantum 3, 2022.
31. Chamberland C. and Campbell E.T., Universal Quantum Computing with Twist–Free and Temporally Encoded Lattice Surgery, PRX Quantum 3, 2022.
32. Kivlichan I.D., Gidney C., Berry D.W., et al. Improved Fault–Tolerant Quantum Simulation of Condensed-Phase Correlated Electrons via Trotterization, Quantum 4, 2020.
33. Bacon D., Software of QIP, by QIP, and for QIP, QIP Plenary Talk 2022.
34. Hermans, S.L. et al. Qubit Teleportation between Non-Neighbouring Nodes in the Quantum Network. Nature 605, 663–668 2022.
35. Sun, Q. — C. et al. Quantum Teleportation with Independent Sources and Prior Entanglement Distribution over a Network. Nature Photonics 10, 671–675 2016.
36. Wang Y, Hu M–L. Quantum Teleportation and Dense Coding in Multiple Bosonic Reservoirs. Entropy. 2022.
37. Wu, H.; Liu, X.; Zhang, H.; etc. Performance Analysis of Continuous Variable Quantum Teleportation with Noiseless Linear Amplifier in Seawater Channel. Symmetry.2022.
38. Cardoso–Isidoro, C., and Delgado F. Shared Quantum Key Distribution Based on Asymmetric Double Quantum Teleportation. Symmetry 14, 2022.
39. Lu, D., Zhihui L., Jing Yu, and Zhaowei H. Verifiable Arbitrated Quantum Signature Scheme Based on Controlled Quantum Teleportation” Entropy 24, 2022.
40. Короченцев Д.А. и др. Квантовые вычислительные системы информационной безопасности: основы алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения. — 2021.

© Ляшенко Кирилл Александрович (reusn@mail.ru), Поркшеян Виталий Маркосович (spu-40@donstu.ru),
 Черкесова Лариса Владимировна (chia2002@inbox.ru), Ревякина Елена Александровна (revyelenayandex.ru),
 Енгибарян Ирина Алешаевна (eirina@live.ru), Бурякова Ольга Сергеевна (buryakovaos@yandex.ru),
 Решетникова Ольга Александровна (irina_reshetnikova@mail.ru).
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ

MATHEMATICAL MODEL
OF INFORMATION INFLUENCE

K. Magomedov

Summary. A mathematical model is proposed that allows one to study the dynamics of informational influence not only at a fixed point in an abstract environment, but also its distribution in an active, heterogeneous environment called social space. The social stratification of agents on various grounds characterizes the heterogeneity of the environment. The heterogeneity of the environment is modeled on the basis of rank signs of social inequality of agents: education, income, age, etc. Using the analogy method, the study of the process of information influence is replaced by the study of nonlinear heat conduction. A method for identifying a measure of distance between elements of a heterogeneous social space is proposed.

Keywords: heterogeneous social space, distribution of influence, environmental resistance, social inequality, analogy method, functional-operator approach, piecewise linear differential equations.

Магомедов Курбан Ахмедович

Доктор технических наук, профессор.

Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
г. Махачкала
mka-iguto@mail.ru

Аннотация. Предложена математическая модель, позволяющая исследовать динамику информационного влияния не только в фиксированной точке абстрактной среды, но и его распространение в активной, неоднородной среде, называемой социальным пространством. Социальная стратификация агентов по различным признакам характеризует неоднородность среды. Неоднородность среды моделируется на основе ранговых признаков общественного неравенства агентов: образования, дохода, возраста и др. По методу аналогий исследование процесса информационного влияния заменяется исследованием нелинейной теплопроводности. Предложен способ идентификации меры расстояния между элементами неоднородного социального пространства.

Ключевые слова: неоднородное социальное пространство, распространение влияния, сопротивление среды, общественное неравенство, метод аналогий, функционально-операторный подход, кусочно-линейные дифференциальные уравнения.

Введение

Цель данной работы заключается в создании математической модели для количественной оценки распространения социально-экономических явлений в обществе. Основное внимание уделено распространению влияния, порождаемого как внешними к социуму источниками, так и внутренним взаимодействием отдельных ее индивидов (агентов) между собой в неоднородной социальной среде.

Социальная среда в силу стратификации ее носителей по-разному реагирует на распространение влияния: ускоряет, тормозит или остается нейтральной.

Одной из главных задач является формализация процесса описания неоднородности среды на основе объективных данных о ее изменчивости. Такая формализация возможна, в частности, если воспользоваться методом аналогий.

С учетом имеющегося опыта математического моделирования процессов нелинейной теплопроводности, в качестве аналога в работе исследована модель распространения тепла в многослойной анизотропной среде.

Под средой подразумеваем совокупность элементов (агентов), например, физических лиц, взаимодействующих между собой. Каждая фиксированная точка среды характеризуется определенными значениями некоторых признаков его элементов (агентов).

Для описания процесса передачи некоторого свойства от одного агента к другому часто используется термин «диффузия». В контексте рассматриваемой нами проблемы целесообразнее использовать термин «социальное влияние». Социальное влияние сопровождается, в частности, изменением поведения или мнения индивида в результате целенаправленного воздействия, например, информационного.

Введем также понятия нормативного влияния: которое «связано с социальным давлением, с правилами общепринятого и ожидаемого поведения» [4].

Для исследования динамики распространения влияния в неоднородном социальном пространстве необходимо количественно оценить его параметры.

Известно множество исследований связанных с количественной оценкой процессов распространения

Таблица 1.

Классическая модель теплопроводности (одномерная)	Идентификация параметров предлагаемой модели	
$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2},$ $0 < x < +\infty, t > 0,$ $u(x, 0) = \psi(x), 0 < x < \infty$ $u(0, t) = \mu(t) 0 < t < \infty,$ где:	$\frac{\partial N(p, t)}{\partial t} = g^2(N(p, t)) \frac{\partial^2 N(p, t)}{\partial p^2},$ $0 < p < +\infty, t > 0,$ $N(p, 0) = \psi(p), 0 < p < \infty,$ $N(0, t) = \mu(t) 0 < t < \infty$ где:	(1)
t — время,	t — время,	
x — пространственная координата,	p — число агентов в социуме,	
u — температура,	$N(p, t)$ — число агентов, воспринявших влияние,	
a^2 — температуропроводность	$g^2(N(p, t))$ — сопротивление среды распространению влияния,	
$u(x, 0) = \psi(x), 0 < x < \infty$ — начальное условие $u(0, t) = \mu(t) 0 < t < \infty$, граничное условие	$N(p, 0) = \psi(p), 0 < p < \infty$, информационное влияние $N(0, t) = \mu(t) 0 < t < \infty$, нормативное влияние	(2)

в социуме болезней, слухов, инноваций и др. Однако в этих работах не учитывается неоднородность среды, а исследуется только процесс изменения некоторого явления в фиксированной точке среды.

В данной работе предлагается математическая модель, позволяющая исследовать динамику информационного влияния не только в фиксированной точке абстрактной среды, но и его распространение в активной, неоднородной среде, называемой социальным пространством.

Для количественной оценки характеристик социального пространства рассмотрим теорию П.А. Сорокина по которой, социальная стратификация — это пространство в социуме, где точками отсчета являются статусы различных агентов. Социальное неравенство определяется тремя направлениями: экономикой, политикой и профессиональной деятельностью. Расслоение в обществе создают также возраст, образование и др. [3].

Схожий подход к характеристике неоднородности общества предложил американский социолог П. Блау [5]. Он разделил неоднородность общества, на две базовые характеристики — гетерогенность и неравенство.

Лавинообразный рост информационно-коммуникационных технологий ведет к соответствующему росту скорости распространения влияния в обществе.

Исследование адекватной математической модели для прогнозирования и управления влиянием в обществе является актуальной задачей.

Математическая модель распространения влияния

Исследуемые нами процессы изменяются не только во времени, но и в неоднородном социальном пространстве. В качестве аналога в работе исследуется модель распространения тепла в многослойной анизотропной среде.

Рассмотрим идентификацию параметров, характеризующих компоненты аналога (классической модели теплопроводности) и предлагаемой моделей на количественном уровне (таблица 1).

Здесь сформулирована начально-краевая задача Коши для уравнения теплопроводности на полупрямой с граничными условиями первого рода: необходимо найти функцию $N(p, t)$ при граничных условиях (2). Численное решение уравнения (1) будем искать, пользуясь функционально-операторным подходом, описанном в [1]. Функционально-операторный подход позволяет учесть изменения параметров путем нелинейных преобразований переменных в классических уравнениях теплопроводности, формируемых, в частности, с помощью кусочно-линейных операторов.

Можно записать исходные дифференциальные уравнения в виде

$$\Psi \left[\frac{\partial N}{\partial t}, \frac{\partial N}{\partial p}, \frac{\partial^2 N}{\partial p^2}, f(p, t) \right] = 0, \quad 0 < p < \infty, 0 < t < T. \quad (3)$$

После введения в (3) кусочно-линейных операторов, которые описаны ниже, получим уравнения

$$\Psi[\varphi_1(\partial N / \partial t), \varphi_2(\partial N / \partial p), \varphi_3(\partial^2 N / \partial p^2), f(p, t)] = 0, \quad (4)$$

$$0 < p < \infty, 0 < t < T.$$

Переходя к одной из канонических форм для таких уравнений, приведенных в [1], получим:

$$\frac{\partial N(p, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial}{\partial p} \varphi(N(p, t)) \right). \quad (5)$$

Разнообразие агентов по какому-то признаку характеризуется обобщенным расстоянием, которое зависит от сопротивления среды.

Очевидно, что различным значениям пространственной координаты p должны соответствовать различные значения признака общественного неравенства агентов. Исследователь должен задать некоторую зависимость $\varphi(N(p, t))$ сопротивления среды адекватно изменению моделируемого признака общественно-неравенства.

Имея эмпирические данные об изменчивости сопротивления среды распространению влияния зададим кусочно-линейный непрерывный оператор φ :

$$\varphi[N(p, t)] = b + \alpha_0 N(p, t) + \sum_{j=1}^s \alpha_j \left| N(p, t) - a_j \right|, \quad (6)$$

который разделяет социальное пространство на сегменты с различной восприимчивостью агентов к влиянию.

Реакция (активность агентов) к восприятию влияния будет зависеть от сопротивления среды.

Оператор (6) строится по системе узлов $\{a_j\}$ с коэффициентами $b, \alpha_0, \alpha_j \in R^1$, причем s — это количество узлов в операторе. Особенности построения оператора (6) приведены в [2].

Ниже, на рис. 1 этот оператор представлен в виде ломанной линии. В соответствии с уравнением (5) от сегмента к сегменту параметр моделируемого общественного неравенства изменяется скачком.

С учетом характера решаемой задачи исследователь задает абсциссы и ординаты оператора $\varphi(a_p)$. Например, при формализации такого показателя общественного неравенства как доход, можно предположить, что слои населения с низким доходом более подвержены влиянию. Вероятно, аналогичные рассуждения справедливы и для такого показателя общественного неравенства как уровень образования.

Возраст, как показатель неравенства, можно условно разделить, например, на несколько промежутков, в крайних из которых находятся субъекты менее подверженные влиянию, и т.д.

Приведенные рассуждения требуют обоснования методами гуманитарных и экономических наук, что выходит за рамки данной статьи.

Объединяя уравнения (5) и (6) составим явную разностную схему

$$N_m^{n+1} = N_m^n + \frac{\tau(b_1 + \alpha_{01} N_{m+2}^n + \alpha_{j1} |N_{m+2}^n - a_{j1}| - 2(b_1 + \alpha_{01} N_{m+1}^n + \alpha_{j1} |N_{m+1}^n - a_{j1}|) + \tau(b_1 + \alpha_{01} N_m^n + \alpha_{j1} |N_m^n - a_{j1}|)}{h^2}, \quad (7)$$

$$m = 1, 2, \dots, M, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

которая позволяет моделировать процессы в ограниченной области.

Численный эксперимент

Пример. Предположим, что социальное пространство состоит из агентов с различным возрастом. Необходимо исследовать какое количество агентов изменило свое отношение к некоторому событию в результате информационного и нормативного влияния. Предполагается также, что с увеличением возраста активность агентов в изменении отношения к событию (восприятию влияния) сначала возрастает, а затем снижается.

Граничное условие $N(p, 0) = \psi(p)$ задает уровень информационного влияния. Его интенсивность поддерживается постоянной во времени и действует только границе социума. Внутри социума происходит только передача влияния между агентами. При необходимости можно задавать различную интенсивность информационного влияния в различных сегментах социума.

Начальное условие $N(0, t) = \mu(t)$ задает уровень нормативного влияния. Его интенсивность поддерживается постоянной во времени и действует на весь социум. При необходимости можно задавать различную интенсивность нормативного влияния в различные промежутки времени.

Зададим уровни влияния: $N(0, t) = 5000$, а $N(p, 0) = 1000$. Эти числа характеризуют максимальное число агентов, которые могут подвергнуться влиянию, соответственно, нормативному или информационному.

Таблица 2.

a_i		250	00	0	000
$\varphi(a_i)$		00	000	000	000

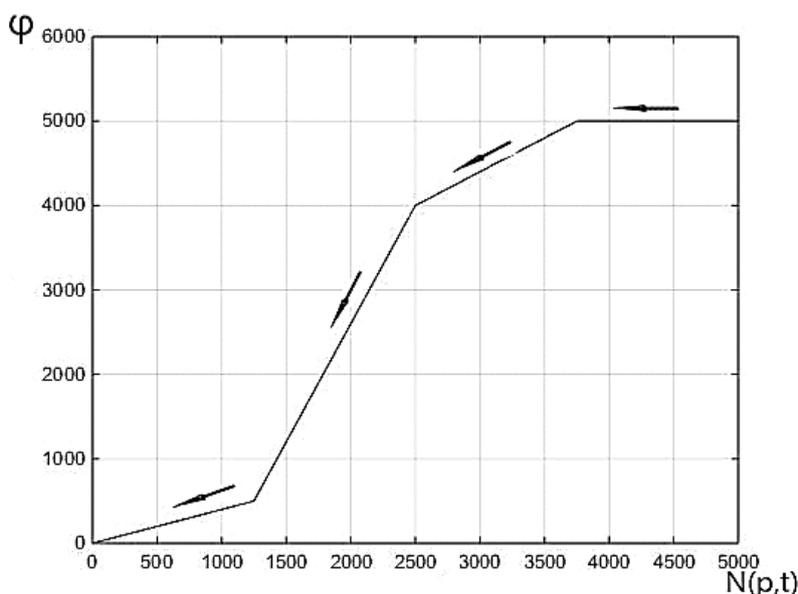


Рис. 1. Кусочно-линейный оператор, характеризующий разнонаправленное чередование тенденций в изменении сопротивления среды, определяемое возрастом индивидов.

Число диапазонов и последовательность чередования сегментов с различными значениями сопротивления среды распространению влияния, зависит от имеющихся у исследователя фактических данных о вариативности исследуемого параметра. Зададим область определения кусочно-линейного оператора (б) в четырех сегментах: $N(p,t) \in [0...1250)$, $N(p,t) \in [1250...2500)$, $N(p,t) \in [2500...3750)$ и $N(p,t) \in [3750...5000]$ в соответствии с таблицей. Дополнительные точки с абсциссами 0 и 5000 определяют поведение оператора за пределами области определения. Каждый из указанных сегментов соответствует определенному сопротивлению среды (возрасту индивидов), таблица 1.

На рис. 1 приведено графическое изображение оператора (б), характеризующего разнонаправленное чередование тенденций в изменении сопротивления среды распространению исследуемого влияния. Такое чередование имеет место при изменении на противоположный тенденции в изменении некоторого признака общественного неравенства.

Область определения искомой функции $N(p_m, t_n)$ кроем расчетной сеткой сузлами в точках $t_n = n\tau$ и $p_m = mh$,

где τ и h шаги сетки соответственно, по времени и пространству.

Зададим шаг по пространственной координате, который характеризует степень детализации различий в возрасте агентов $h = 1$. В рассматриваемом примере максимальному значению пространственной переменной $p_m = 75$ лет, соответствует максимальное значение индекса $m = p_m/h = 75/1 = 75$. Примем минимальное значение индекса $m = 14$ лет.

Для обеспечения устойчивости явной разностной схемы (7) зададим шаг по времени $\tau = 0.1$. Предположим, что такая величина τ соответствует 3 часам. Тогда для исследования процесса распространения влияния в диапазоне вариативности переменной «время» в пределах $t_n \in [0...1 \text{ год}]$, максимальное значение индекса n должно составить $N = 365 \times 24 = 8760/3 = 2920$. Пусть $N = 3100$. Таким образом, задача Коши решается на интервалах $t_n = n\tau$, $n \in [1, N]$, $p_m = mh$, $m \in [5, M]$, где $N = 3100$, $M = 75$.

Зависимости, приведенные на рис. 2 демонстрируют разнонаправленный характер изменения сопротивления среды активности индивидов к изменению своего

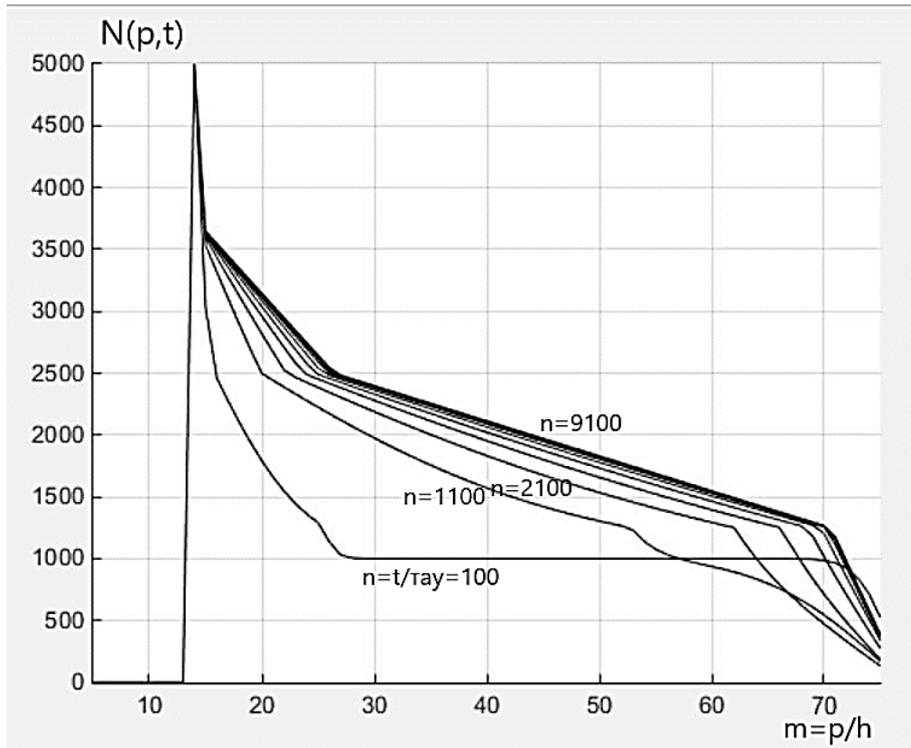


Рис. 2. Зависимость числа агентов, подвергшихся влиянию и изменивших свое отношение к некоторому событию от их возраста. Различные кривые соответствуют различным моментам времени.

отношения к некоторому событию (влиянию). Сегменту области определения оператора (6) при $N(p_m, t_n) \in [3750...5000]$ на рис. 1 соответствует горизонтальная прямая с нулевым углом наклона, которая соответствует бесконечно большому сопротивлению среды. На рис. 2 этому участку оператора (6) соответствует вертикальная прямая с началом в точке, соответствующей ординате $N = 5000$.

Затем в сегменте $N(p_m, t_n) \in [2500...3750]$, на рис. 2 угол наклона оператора увеличивается, сопротивление среды уменьшается, а количество агентов изменивших свое отношение к некоторому событию падает медленнее, что и наблюдается на рис. 2, например, при рассмотрении зависимости для временного слоя $n=2100$ в социумах при $m \in [14...25]$. Этот сегмент соответствует молодым индивидам. Далее, в сегменте $N(p_m, t_n) \in [1250...2500]$, угол наклона оператора увеличивается еще больше, чем в предыдущем сегменте, сопротивление среды становится еще меньше и количество агентов изменивших свое отношение к некоторому событию падает медленнее.

Такая тенденция наблюдается на рис. 2 для временного слоя $n = 2100$ при $m \in (25...65]$. И, наконец, в сегменте $N(p_m, t_n) \in [0...1250]$ тенденция меняется

на противоположную и сопротивление среды растет. Этот сегмент соответствует старшему поколению и как видно из рис. 2 для $n = 2100$ при $m \in (65...75]$ количество агентов, изменивших свое отношение к некоторому событию, уменьшается с большей скоростью.

На рис. 2 точки изломов в зависимости от возраста числа агентов, подвергшихся воздействию и изменивших свое отношение к некоторому событию соответствуют границам сегментов области определения кусочно-линейного оператора (6) (границам социумов с различным возрастом), графическое изображение которого приведено на рис. 1.

Смещение точек изломов, связанных с кусочно-линейным характером уравнений, наблюдается и на зависимостях, приведенных на рис. 3. Это смещение связано с тем, что чем моложе индивиды, тем они более активны в восприятии событий. С повышением возраста один и тот же уровень количества агентов, изменивших свое отношение к некоторому событию, наблюдается в более поздние моменты времени. Падающие участки на временных зависимостях в сегменте $m \in [65...75]$ на рис. 3 свидетельствуют о превалировании в начальный период времени нормативного влияния над информационным влиянием.

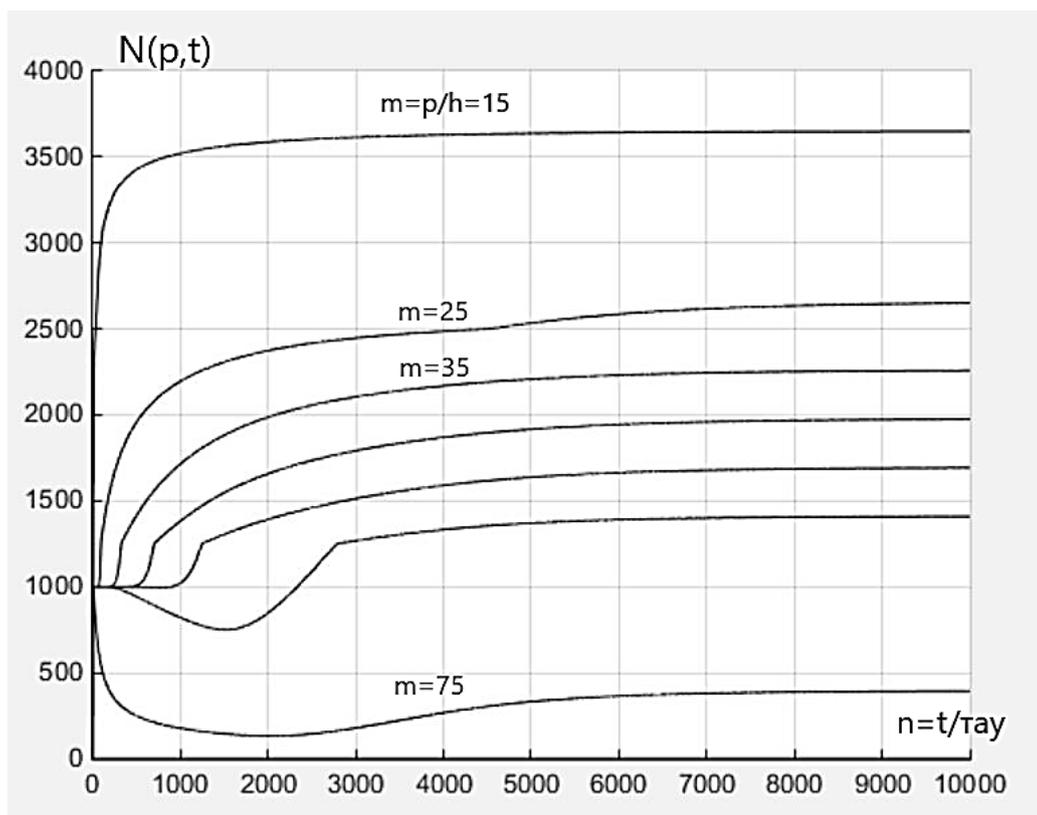


Рис. 3. Изменение во времени числа агентов, подвергшихся влиянию и изменивших свое отношение к некоторому событию. Различные кривые соответствуют различному возрасту.

Выводы

1. На основе функционально-операторного подхода доказана возможность применения моделей теплопроводности в многослойных анизотропных средах для исследования информационного влияния в неоднородном социальном пространстве.
2. Формализовано понятие меры в неоднородном социальном пространстве.
3. Исследованы особенности распространения влияния при изменении ранговых признаков общественного неравенства.
4. Численный эксперимент подтвердил теоретические положения.
5. С учетом характера выбранной аналогии существует возможность расширения модели с целью одновременного исследования до трех признаков общественного неравенства с учетом их взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В.Н., Магомедов К.А. Негладкие операторы и распределенные системы. СПб.: изд. СПб ГПУ, —2003. —160 с.
2. Магомедов К.А. Пространственная модель распространения социальных и экономических явлений в неоднородном обществе. Инновации и инвестиции. 2020. № 3. С. 41–47.
3. Сорокин П. Социальная и культурная мобильность//Сорокин П. Человек, цивилизация, общество/Под ред. А.Ю. Согомонова. М.: Политиздат, 1992. С. 297–307. Перевод А.Ю. Согомонова.
4. Чхартшвили А.Г., Губанов Д.А. Нормированная и ненормированная влиятельность пользователей и мета-пользователей онлайн-социальной сети / Материалы Международной научно-практической конференции «Теория активных систем» (Москва, 2016). М.: ИПУ РАН, 2016. С. 251–257.
5. Blau, Peter M. Inequality and Heterogeneity: A Primitive Theory of Social Structure Hardcover — October 1, 1977.

© Магомедов Курбан Ахмедович (mka-igumo@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL COMPONENT OF AN INFORMATION SYSTEM THAT IMPLEMENTS THE RECOGNITION OF TEXTUAL INFORMATION

*Yu. Maximov
A. Kasymov*

Summary. This article discusses the process of developing a functional component of an information system for recognizing text and graphic information. The task of recognizing graphic information is currently one of the most urgent. The most frequently used methods and means of recognition are considered. The development of software for the recognition and processing of graphic and textual information is an important activity of many companies and organizations. To date, there are a large number of text recognition algorithms, including those using neural networks. However, for practical application, an algorithm is needed that can be used to recognize text written in different languages. The issue of creating an application software for recognizing text information, with the aim of further use as an element of an information system, is being considered. To create the program, an algorithm was chosen that allows you to produce a distribution.

Keywords: automation, algorithmization, software, management, information processing, recognition.

Максимов Юрий Максимович

Аспирант, Воронежский Государственный
Технический Университет
yuramaximo@mail.ru

Касымов Алексей Алексеевич

Аспирант, Воронежский Государственный
Технический Университет
kasimlele@live.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки функционального компонента информационной системы для распознавания текстовой и графической информации. Задача распознавания графической информации в настоящее время является одной из наиболее актуальных. Рассматриваются наиболее используемые методы и средства распознавания. Разработка программного обеспечения распознавания и обработки графической и текстовой информации является важным направлением деятельности многих компаний и организаций. На сегодняшний день существует большое количество алгоритмов распознавания текста, в том числе и с применением нейронных сетей. Однако, для практического применения необходим алгоритм, который может быть использован для распознавания текстов, написанных на разных языках. Вопрос создания прикладного программного обеспечения распознавания текстовой информации, с целью дальнейшего использования как элемента информационной системы. Для создания программы был выбран алгоритм, который позволяет производить распознавание, разработать программную реализацию, протестировать и отладить программу, а также разработать интерфейс пользователя. Широкое распространение графических форматов и необходимость конвертирования данных, полученных в ходе выполнения различных процессов, требуют наличия специальных средств для распознавания графических данных. В конце статьи приводится краткое описание интерфейса пользователя для работы с программой распознавания.

Ключевые слова: автоматизация, алгоритмизация, программное обеспечение, управление, обработка информации, распознавание.

Введение

За последнее десятилетие стремительное развитие получили технологии цифровой обработки изображений, а также сопутствующие им технологии распознавания графических объектов.

Трудно переоценить прикладное значение данных технологий, которые нашли свое применение в таких

сферах как оцифровка архивов и библиотечных фондов, также технологии распознавания позволяют задействовать автоматизированные средства обработки для проведения целого комплекса мероприятий, связанных с анализом распознанных графических объектов.

По мнению авторов, программные решения, использующие в своей основе технологии цифровой об-

BRITISH AIRWAYS CHECK-IN INFORMATION FOR PASSENGERS

For all domestic and European flights, check-In is one and a half hours before departure. For international departures, check-in is two hours before departure. You must check in within the recommended time before your departure.

- 1 Your baggage must be securely closed and locked.
- 2 Every piece of your checked baggage must be labelled with your name and destination address. We suggest a label should always be put inside each piece of baggage.
- 3 You must remove all old destination labels from previous trips. Old labels may delay your baggage.
- 4 Do not carry unidentified objects for other people.
- 5 You may carry personal items as cabin baggage. British Airways recommend passengers include important documents, cash, valuable items, medication and laptops (portable computers) in their cabin baggage. Do not pack these in your checked baggage,



Рис. 1. Сегментация текста на блоки, строки, элементы и символы

работки и распознавания графических объектов могут быть крайне полезными в правоохранительной сфере, а также при решении ряда задач, стоящих перед МЧС России, например:

Выезд сотрудников правоохранительных органов на место совершения преступления, сопряжен с необходимостью сбора доказательной базы и улики, которыми зачастую являются документы. В настоящее время зачастую сотрудники используют только лишь копируемую технику, а анализ документов происходит без использования средств автоматизации;

Работа сотрудников МЧС России по ликвидации последствий, наступивших в следствии возникновения чрезвычайных ситуаций сопряжена с обработкой большого массива задокументированных данных, которые были сформировано в процесс функционирования различного рода предприятий. Особую озабоченность вызывают экономические объекты, на которых используются зарубежные технологические решения, зарубежная техника и оборудование, оригинальные спецификации, техническая документация которых написаны на иностранных языках, при этом в рамках одной организации могут использоваться такого рода оборудование, произведенное в различных странах.

Особую тревогу и озабоченность, вызывает тот факт, что на сегодняшний день ведущие мировые компании, занимающиеся технологиями распознавания изобра-

жений (ABBV, Kofax и др.) в настоящее время перестали официально сопровождать свое программное обеспечение на территории Российской Федерации.

Актуальность рассматриваемой темы, обусловлена так же тем, что на сегодняшний день не получили широкого распространения программные решения распознавания текста, реализованные в качестве полнофункциональных подсистем, существующих ведомственных информационных систем.

Особое прикладное значение имеют мобильные программные продукты, реализующие распознавание графические изображений, в том числе текстовой информации. Для решения подобного рода задач используется метод оптического распознавания символов (англ. optical character recognition, OCR) — реализующий механический или электронный перевод изображений рукописного, машинописного или печатного текста в текстовые данные, использующиеся для представления символов в компьютере. [1,2]

Аналитическая часть

Одна из вариаций алгоритма оптического распознавание символов подразумевает реализацию следующих этапов:

1. Получение не редактируемого текстового содержимого из отсканированных документов всех типов, от планшетных сканирований корпора-

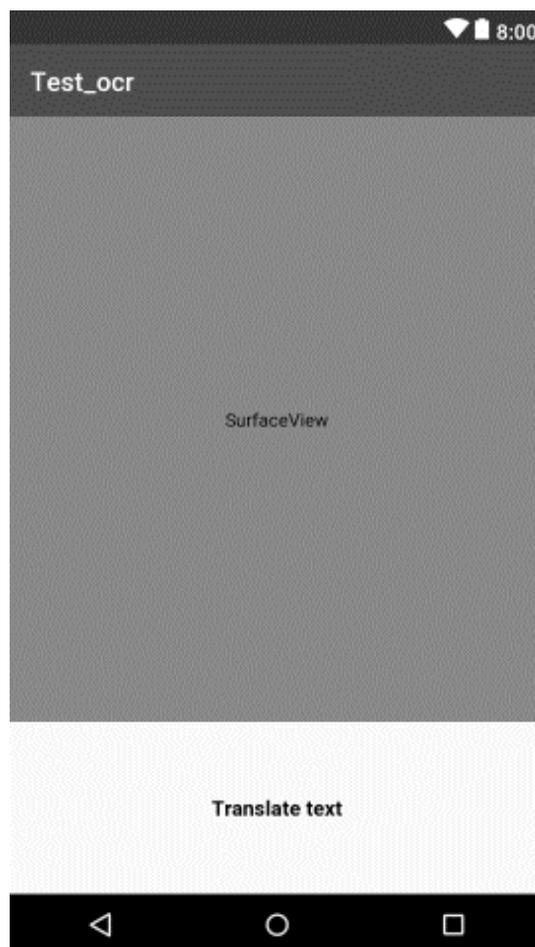


Рис. 2. Интерфейс приложения

тивных архивных материалов до видеозаписей наблюдения в реальном времени и данных мобильной визуализации.

2. Предварительная обработка — это очистка исходных изображений на агрегированном уровне, чтобы текст было легче различить, а шум уменьшался или устранялся.
3. Сегментация и извлечение признаков, подразумевает сканирование содержимого изображения на наличие групп пикселей, которые, вероятно, представляют собой отдельные символы, и отнесение каждого из них к своему собственному классу. Сегментация текста на блоки, строки, элементы и символы происходит поэтапно для извлечения признаков из него (Рис. 1), где:
 - ◆ Блок — это непрерывный набор текстовых строк,
 - ◆ Строка — это непрерывный набор слов на одной оси,
 - ◆ Элемент представляет собой непрерывный набор буквенно-цифровых символов («слово») на одной оси,

◆ Символ — это одиночный буквенно-цифровой символ на оси.

4. Обучение осуществляются после того, как все функции определены, данные обрабатываются в сеансе обучения нейронной сети, где модель попытается разработать обобщенное отображение объекта.
5. Этап проверки и переподготовки может быть реализован с непосредственным участием человека, при этом реализация исправлений подразумевает их возвращение в последующие учебные сессии. На этом этапе, возможно, потребуется пересмотреть качество данных [4,5].

Практическая реализация алгоритма

В качестве языка программирования для реализации алгоритма, был использован язык Java, который позволяет использовать достаточно сложную систему классов, описывающих все объекты, участвующие для решения поставленной задачи, а также реализует под-

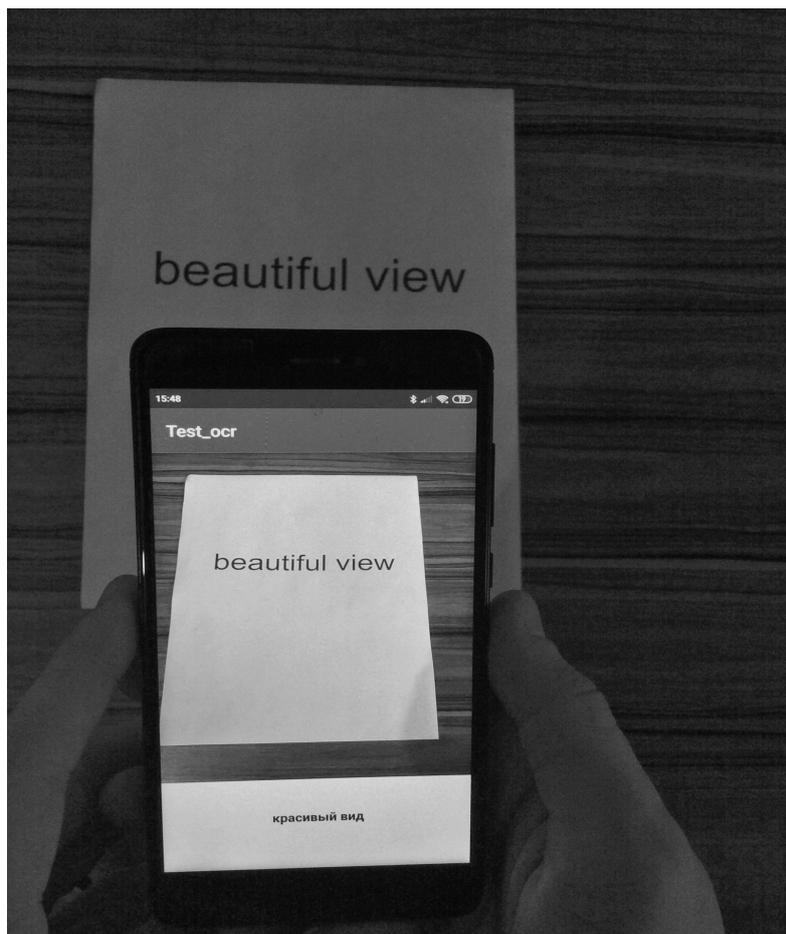


Рис. 3. Результат работы программного обеспечения по обработке текстовой информации

держку библиотек компьютерного зрения OpenCV [6], [7], высокоточную модель распознавания текста на основе глубокого изучения Tesseract [8], библиотеки компьютерного зрения Google ML Kit [9].

Использование среды разработки IntelliJ IDEA при создании проекта позволяет автоматически генерировать все необходимые файлы при этом основные файлы для работы с кодом хранятся в папке «src», файлы, отвечающие за графическое отображение в папке «layout». Для разработки мобильного интерфейса в Android используется расширяемый язык разметки (Extensible Markup Language), сокращенно XML.

Например, использование Android studio позволяет реализовать два режима работы с xml файлами: графический и просмотр кода. На рисунке 2 представлен внешний вид графического режима на примере стартовой страницы создаваемого приложения.

В ходе разработки программного решения были использован вид разметки LinearLayout, который по-

зволяет отражать View-элементы в виде одной строки (если установлен Horizontal) или одного столбца (если установлен Vertical).

Реализация интерфейса подразумевает использование двух основных программных компонента SurfaceView и TextView.

SurfaceView — объект Surface, который поддерживает рисование в фоновом потоке и позволяет использовать OpenGL для изображения трёхмерной графики.

TextView — текстовое поле для отображения результата работы по распознаванию и переводу.

В функциональном модуле было реализовано два класса, а именно MainActivity и NetworkUtils. Каждый класс прописывает название пакета и необходимые модули импорта. Для каждого экрана соответствует отдельный Java класс, для главного экрана изображения соответствует класс «MainActivity», основные части класса:

`onCreate()` — Метод, который задаёт начальную установку параметров при инициализации активности, здесь же вызывается метод `startCameraSource()`.

`startCameraSource()` — Основной метод приложения в котором происходит основная работа приложения.

В программном коде был использован класс `TranslateTask`, который отвечает за направление запросов для перевода текста в фоновом потоке, методы класса `TranslateTask`:

`protected String doInBackground()` — основной метод, который выполняется в новом потоке и не имеет доступа к пользовательскому интерфейсу. В этом методе отправляется URL запрос к Yandex Translate API для перевода распознанного текста.

`protected void onPostExecute()` — выполняется после `doInBackground`, это метод имеет доступ к пользовательскому интерфейсу и он обновляет текстовое поле, в которое заносит переведенный текст.

Используемый класс `NetworkUtil` описывает работу с URL запросами, формирование URL из строки и получение результата запросов, основные используемые поля и свойства класса `NetworkUtil`: `YANDEX_API_BASE_URL`; `YANDEX_JSON_TRANSLATE`; `PARAM_KEY`, `PARAM_TEXT`; `PARAM_LANG`, `YANDEX_API_KEY`.

На рисунке 3 продемонстрирован успешный результат работы приложения по определению текст и его правильного перевода.

Заключение

Рассмотренное в настоящей статье программное решение отличается простотой, может быть реализовано программистами начального уровня, и как следствие финансовые расходы на разработку могут быть ограничены зарплатным фондом штатных специалистов учреждения или организации, что в условиях повсеместной экономии финансовых средств так же является крайне актуальным.

Применение рассмотренного программного решения может осуществляться в рамках реализации служебных обязанностей широкого круга исполнителей, так же оно может быть использовано в качестве функционального элемента государственных или коммерческих информационных систем.

На сегодняшний день особую озабоченность вызывают существующие подходы обработки больших объемов данных, требующие реализацию более эффективных и устойчивых методов распознавания символов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burie JC, J. ICDAR2015 competition on smartphone document capture and OCR (SmartDoc) / Burie JC, J. Chazalon, M. Coustaty et al. // 3th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). — Tunis: IEEE, 2015;(3): 1161–1165.
2. Herbert, F.S. History of OCR, Optical Character Recognition / F.S. Herbert. — 4th ed. — Manchester Center: Recognition Technologies Users Association, 1982.
3. Khaoula Text Recognition in Multimedia Documents: A Study of two Neural-based OCRs Using and Avoiding Character Segmentation / Khaoula, G. Elagouni, M. Christophe et al. // International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR). — 2013. — № 17. — С. 1–13.
4. Ravina, Mithe Optical Character Recognition / Mithe Ravina, Indalkar Supriya, Divekar Nilam. // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJ RTE). — 2013. — № 2. — С. 45–49.
5. Bhaskar, S. Implementing Optical Character Recognition on the Android Operating System for Business Cards / S. Bhaskar, N. Lavassar, Green Scott. // Digital Image Processing. — 2010. — № . — С. 139–146.
6. Qashlim Smartphone Technology Applications for Milkfish Image Segmentation Using OpenCV Library / Qashlim, B. Akhmad, H. Basri. — T // International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). — 2020. — № 14. — С. 150–155.
7. Adrian, Rosebrock OpenCV OCR and text recognition with Tesseract / Rosebrock Adrian. // pyimagesearch: [Internet]. — URL: <https://pyimagesearch.com/2018/09/17/opencv-ocr-and-text-recognition-with-tesseract/> (Accessed: Oct 05.2022).
8. Smith, R. An overview of the Tesseract OCR Engine / R. Smith. // Proc 9th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition. — Curitiba: IEEE, 2007. — С. 629–633.
9. Adrian, Rosebrock OpenCV OCR and text recognition with Tesseract / Rosebrock Adrian. // pyimagesearch [Internet]. — URL: <https://pyimagesearch.com/2018/09/17/opencv-ocr-and-text-recognition-with-tesseract/> (Accessed: Oct 05.2022).
10. Hagos Learn Android Studio 3: Efficient Android App Development / Hagos, T. — 4th ed. — Berkeley: 2018. — 260 c.

© Максимов Юрий Максимович (yuramaximo@mail.ru), Касымов Алексей Алексеевич (kasimlele@live.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДЫ СТЕГАНОГРАФИИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТАХ MS WORD ПРИ РАБОТЕ СО СТАНДАРТНЫМИ (НЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМИ) ПРОГРАММАМИ

STEGANOGRAPHY TECHNIQUE REALISED IN MS WORD DOCUMENTS IMPLEMENTED WITH STANDARD (NON-SPECIALISED) PROGRAMS

V. Mikhaelis
S. Mikhaelis

Summary. Most of modern research in the field of steganography either focuses on the concept of concealed information embedded in multimedia containers (images, audio and video files) of different formats, or is aimed at the use of telecommunication networks (network steganography). The present paper represents an initial stage of research in the field of textual steganography and considers modification of textual colour parameters as well as information retrieval from the container without the use of special software.

Keywords: textual steganography, text colour parameters modification.

Михаэлис Владимир Вячеславович

Кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
mvv_1967@mail.ru

Михаэлис Светлана Ивановна

Кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
msibgu@rambler.ru

Аннотация. Большинство современных исследований в области стеганографии либо сосредоточены на концепции скрытой информации, встроенной в мультимедийные контейнеры (изображения, аудио- и видеофайлы) разных форматов, либо направлены на использование телекоммуникационных сетей (сетевая стеганография). Предлагаемая работа является начальной стадией исследования, посвященного текстовой стеганографии, и рассматривает модификацию цветовых параметров текста и извлечение информации из контейнера без использования специального программного обеспечения.

Ключевые слова: текстовая стеганография, модификация цветовых параметров текста.

Для решения задачи защиты информации от несанкционированного доступа используется множество способов и методов. Два основных способа — криптография и стеганография — имеют свои преимущества и недостатки.

Стеганография применяется тогда, когда необходимо не только скрыть смысл сообщения, но и спрятать сам факт передачи. Основным принцип стеганографии — замаскировать конфиденциальное сообщение, используя открытую, всем доступную информацию. Стеганография используется очень давно, но с появлением и развитием компьютерной техники вышла на новый, более качественный уровень. Различают несколько способов стеганографии, применяющих вычислительную технику и сети: компьютерная стеганография, использующая некоторые особенности файловых систем, неиспользуемых областей дисков, форматов файлов и т.д.; цифровая стеганография, использующая мультимедиа контент. В последнем случае используется мультимедийный контейнер, в который вкладывается скрываемое сообщение. Существует так-

же сетевая стеганография, использующая особенности протоколов передачи данных в различных сетях [7].

Разновидность компьютерной стеганографии, которая использует текстовый контейнер, называется текстовой стеганографией (text steganography) [5, 10]. Для сокрытия информации в текстовых контейнерах используются разнообразные методы: цветовое кодирование на основе перестановки и систем счисления [4], использование цвета шрифта невидимых символов в документах Microsoft Word [2], модель нормализации интервалов (CSNTSteg) [6], OCR-модели для встраивания и извлечения информации [1], метод на основе изменения междустрочного расстояния неотображаемых символов строк [9], метод модификации контуров символов текста [14] и др.

Наше внимание привлёк метод текстовой стеганографии на основе модификации цветовых координат символов. Суть метода заключается в том, что цвет символа в текстовом процессоре MS Word представлен в цветовой модели RGB, то есть цвет каждого символа

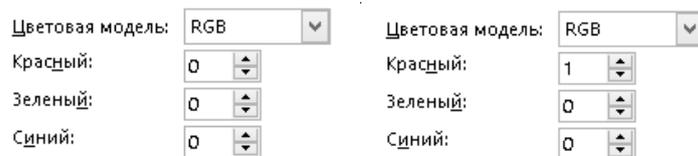


Рис. 1. Параметры шрифта до и после изменения цветового спектра в окне *Цвета* MS Word 2016

формируется из палитры трех цветов. Незначительное изменение одного, двух или трех цветов символа не воспринимается человеческим глазом. Используя данную физиологическую особенность, можно незаметно производить встраивание информации. Для использования данного метода И.М. Ажмухамедовым и Н.А. Колесовой было создано программное обеспечение (далее — ПО) [8]. Для извлечения информации также используется созданное этими разработчиками ПО. Таким образом, для реализации данного метода нужно две специализированные программы. Это накладывает определенные ограничения на использование перспективного способа. И если внедрение сообщения в контейнер еще допустимо, то извлечение при помощи сторонней программы крайне нежелательно. Весьма вероятно, что получатель сообщения не сможет использовать специализированную программу из-за тех или иных ограничений (чужой компьютер, групповые политики и т.д.).

Нами предлагается метод текстовой стеганографии, особенностью которого является отсутствие использования специального программного продукта. Он заключается в том, что в параметры шрифта текущего текста вручную вносится изменение цвета букв, находящееся ниже порога чувствительности глаза нормального человека. В результате в RGB-модели буквы спектр незначительно меняется (рис. 1). Таким образом, из «искаженных» букв составляется сообщение, которое необходимо спрятать, и исходный текст превращается в стегоконтейнер.

Обнаружить данную маскировку сложно, т.к. проверить каждую букву вручную представляется трудоемкой задачей. Используя такую технологию, можно замаскировать свое сообщение, заранее обговорив с адресатом необходимый цвет. При этом размер контейнера меняется, но не критично. Для эксперимента начальный фактический размер контейнера составил 13837 байт, после внедрения сообщения (одно слово) его объем увеличился до 13993 байт, или на 1,12%. Объем внедрения составил 0,63% (6 букв) от объема текста в 788 знаков. При этом размер файла на диске остался прежним — 16384 байта.

Таким образом, мы скрыли наше сообщение в нейтральном тексте. Теперь перед нами встает не менее

важная задача: извлечь необходимую информацию из контейнера, используя при этом только стандартные и повсеместно используемые программы, желательно бесплатные. Предлагается следующий метод:

1. Запаковать файл условно-бесплатной программой WinRAR.
2. Открыть архив.
3. Просмотреть файл средствами архиватора (Alt+V) или выбрав в контекстном меню команду *Просмотреть файл*.
4. В открывшихся окнах найти файл *document.xml* (данное имя файлу присваивает программа-архиватор).
5. Открыть его.
6. В открывшемся в режиме HTML файле найти буквы с измененной цветовой моделью (на рис. 2 область выделена черным прямоугольником): они обрамлены тэгами `<w: t>` и одиночны.
7. Собрать сообщение из разрозненных букв.

Оценим показатели визуального искажения, основанные на анализе пиксельной структуры контейнера нашей стеганографической системы. Количественное и качественное оценивание стойкости системы защиты к внешним воздействиям представляет собой достаточно сложную задачу, которая обычно на практике реализуется методами системного анализа, математического моделирования или экспериментального исследования [11].

Используемые в исследовании тексты были набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 и 14 пт (2,8 и 3,3 мм). Количество пикселей для 12 пт — 121 пиксель на букву, для 14 пт — 169 пикселей на букву. Данные для других шрифтов и размеров вычисляются аналогично.

Так как наша система относится к компьютерной и цифровой стеганографии, используем метод объективного оценивания качества. Большое распространение получили корреляционные показатели качества изображения, например коэффициент корреляции Пирсона (1):

$$k = \frac{\sum_c \sum_r (A(c, r) - A_m) \cdot (B(c, r) - B_m)}{\sqrt{\sum_c \sum_r ((A(c, r) - A_m)^2) \cdot (\sum_c \sum_r (B(c, r) - B_m)^2)}} \quad (1)$$

```

        <w:szCs w:val="28"/>
        </w:rPr>
        <w:t>n</w:t>
    </w:r>
    <w:r w:rsidRPr="00A77F2B">
        <w:rPr>
            <w:rFonts w:ascii="Times New
            <w:sz w:val="28"/>
            <w:szCs w:val="28"/>
        </w:rPr>
        <w:t>ции ск</w:t>
    </w:r>
    <w:r w:rsidRPr="007C1DE2">
        <w:rPr>
            <w:rFonts w:ascii="Times New
            <w:color w:val="010000"/>
            <w:sz w:val="28"/>
            <w:szCs w:val="28"/>
        </w:rPr>
        <w:t>p</w:t>
    </w:r>
    <w:r w:rsidRPr="00A77F2B">
        <w:rPr>
            <w:rFonts w:ascii="Times New
            <w:sz w:val="28"/>
            <w:szCs w:val="28"/>
        </w:rPr>
        <w:t xml:space="preserve">ыто;
    </w:r>
    <w:r w:rsidRPr="005B4C9A">
        <w:rPr>
            <w:rFonts w:ascii="Times New
            <w:color w:val="010000"/>
            <w:sz w:val="28"/>
            <w:szCs w:val="28"/>
        </w:rPr>
        <w:t>и</w:t>
    </w:r>
    <w:r w:rsidRPr="00A77F2B">
        <w:rPr>
            <w:rFonts w:ascii="Times New
            <w:sz w:val="28"/>

```

Рис. 2. Просмотр файла-контейнера document.xml в режиме HTML

где c, r — координаты пикселя изображения; $A(c, r)$, $B(c, r)$ — исходное и искаженное изображение; A_m, B_m — среднее арифметическое пикселей исходного и искаженного изображения. Значения коэффициента корреляции определены в диапазоне от -1 до 1 . В случае полной идентичности изображений он принимает значение, равное 1 . Для вычисления корреляции Пирсона в Matlab предусмотрена функция *corr2*. При вычислении получили значение, равное 1 . Значения c и r меняются от 1 до 11 (для 12 пт) или от 1 до 13 (14 пт) пикселей.

В нашем исследовании использовалась операционная система (далее — ОС) Windows 10, браузер Internet Edge, текстовый процессор MS Word 2016 и условно-бесплатная программа — архиватор Win RAR6.11. Для апробации был взят текстовый документ, содержащий 127 слов, 914 (788) знаков с пробелами (без пробелов). За рамками исследования остались механизмы взаимодействия архиватора и файлов архива. В частности, детально не рассматривалась команда *Просмотреть файл* (вызов Alt+V) архиватора.

Данный метод находится на границе компьютерной и цифровой стеганографии. К компьютерной стеганографии его относит контейнер — текстовый файл, к цифровой — замена цвета объекта. Основным достоинством нашего метода можно назвать возможность обнаружить сообщение, не прибегая к специальным программам. Использование широко распространенного и/или бесплатного ПО допускает применение нашего метода в тех случаях, когда приходится пользоваться «чужим» оборудованием.

В ходе нашего исследования остались не освещены вопросы общего использования данного метода:

1. Использование данного метода для различных ОС и других версий программы WinRAR.

2. Использование большого объема контейнера.
3. Использование большого объема информации.
4. Подбор размера исходного файла и контейнера с целью сокрытия использования стеганографии.
5. Создание программ для автоматизированного ввода и вывода текста в контейнер. Нашей целью было использовать только самые распространенные программные средства, поэтому в дальнейшем мы намерены использовать язык программирования VBA, так как он встроен в пакет MS Office.

Предлагаемая технология является начальной стадией нашего исследования, и обозначенные вопросы станут частью дальнейших разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ding K., Hu T., Niu W., Liu X., He J., Yin M., Zhang X.A. Novel Steganography Method for Character-Level Text Image Based on Adversarial Attacks. *Sensors* 2022, 22, 6497.
2. Khairullah M.A Novel Text Steganography System Using Font Color of the Invisible Characters in Microsoft Word. URL: www.researchgate.net/publication/232615004_A_Novel_Text_Steganography_System_Using_Font_Color_of_the_Invisible_Characters_in_Microsoft_Word_Documents.
3. Liu Q., Sung A.H. Feature Mining and Neuro-Fuzzy Inference System for Steganalysis of LSB Matching Steganography in Grayscale Images https://www.researchgate.net/publication/220814327_Feature_Mining_and_Neuro-Fuzzy_Inference_System_for_Steganalysis_of_LSB_Matching_Steganography_in_Grayscale_Images.
4. Sadié J.K., Metcheka L.M., Ndoundam R. Two high capacity text steganography schemes based on color coding. URL: <https://arxiv.org/abs/2004.00948>.
5. Shniperov A.N. A text steganography method based on Markov chains // *Automatic Control and Computer Sciences*. — 2016. — Т. 50 (№ 8). — С. 802–808.
6. Thabit R., Udzir N.I., Yasin S.M., Asmawi A., Gutub A.A. — A. CSNTSteg: Color Spacing Normalization Text Steganography Model to Improve Capacity and Invisibility of Hidden Data. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9795032>.
7. Абазина Е.С., Ерунов А.А. Сравнительный анализ и классификация методов цифровой и компьютерной стеганографии, и перспективные направления ее развития // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. — 2016. — № 655. — С. 5–16.
8. Ажмухамедов И.М., Колесова Н.А. Защита от передачи стегосообщений в графических файлах // *Инфокоммуникационные технологии*. — Том 10. — № 3. — 2012. С. 93–97.
9. Блинова Е.А. Стеганографический метод на основе изменения междустрочного расстояния неотображаемых символов строк электронного текстового документа // *Труды БГТУ*. № 6. Физико-математические науки и информатика. — 2016. — № 6(188). — С. 166–169.
10. Герлинг Е.Ю. Обзор современного программного обеспечения, использующего методы стеганографии // *Экономика и качество систем связи*. — 2019. — № 3(13). — С. 51–58
11. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. «МК-Пресс», Киев, 2006. — 288 с.
12. Красов А.В. Метод обнаружения сетевой стеганографии на основе машинного обучения // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. Серия: Естественные и технические науки. — 2022. — № 3. — С. 100–108. — DOI 10.37882/2223–2966.2022.03.17
13. Михаэлис В.В. Защита беспроводных сетей // *Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем*. — 2015. — № 14. — С. 4–10.
14. Нистюк О.А., Урбанович П.П. Метод и математическая модель стеганографического преобразования информации на основе модификации контура символов текста-контейнера // *Труды БГТУ*. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. — 2022. — № 2(260). — С. 92–98.

© Михаэлис Владимир Вячеславович (mvv_1967@mail.ru), Михаэлис Светлана Ивановна (msibgu@rambler.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

FUNCTIONAL MODELS OF MANAGEMENT PROCESSES OF CORPORATE COMPUTING RESOURCES OF EDUCATIONAL ORGANIZATION

**M. Naumov
T. Mikhaleva
S. Chiskidov**

Summary. The purpose of the work is to use applications for process modeling to develop a scheme for the functioning of a software solution for managing corporate computing resources of an educational organization in the Moscow region. The result of the work carried out are the created functional diagrams of the processes of the software solution for managing the computing resources of the corporate network of the educational complex (VRKSOK).

Keywords: educational organization, computing resources, corporate network, process diagram, use case diagram, information system.

Наумов Максим Александрович

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)», г. Москва
mnaumov@yandex.ru

Михалёва Татьяна Николаевна

Кандидат технических наук, доцент, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)», г. Москва
ermaktat@bk.ru

Чискидов Сергей Васильевич

Кандидат технических наук, доцент
Профессор ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», г. Химки
chis69@mail.ru

Аннотация. Цель работы заключается в том, чтобы с использованием приложений для моделирования процессов осуществить разработку схемы функционирования программного решения для управления корпоративными вычислительными ресурсами образовательной организации Московского региона. Итогом осуществленной работы выступают созданные функциональные схемы процессов программного решения для управления вычислительными ресурсами корпоративной сети образовательного комплекса (ВРКСОК).

Ключевые слова: образовательная организация, вычислительные ресурсы, корпоративная сеть, схема процесса, диаграмма прецедентов, информационная система.

Введение

В процессе создания функциональной схемы процессов, выполняющих свои функции в информационной системе (ИС) управления ВРКСОК Москвы, нашли свое применение язык для документирования программных решений UML и программа Bizagi Modeler, позволяющая моделировать бизнес-процессы путем использования нотации BPMN [1, 2].

Согласно данным нотациям модель функционирования ИС рассматривается в виде комплекса схем прецедентов процессов, выполняющих свою функцию в ИС, и описывающих их схем [3].

Результаты функционального моделирования

Схема прецедентов процессов в программном решении для управления ВРКСОК нашла свое отражение на рисунке 1.

Выделено пять участников процесса функционирования: Администратор программного решения, Техник и Инженер, работающие в отделе, занимающемся программно-техническим обеспечением и ремонтом (ПТО-иР), Начальник данного отдела и Структурное подразделение образовательной организации.

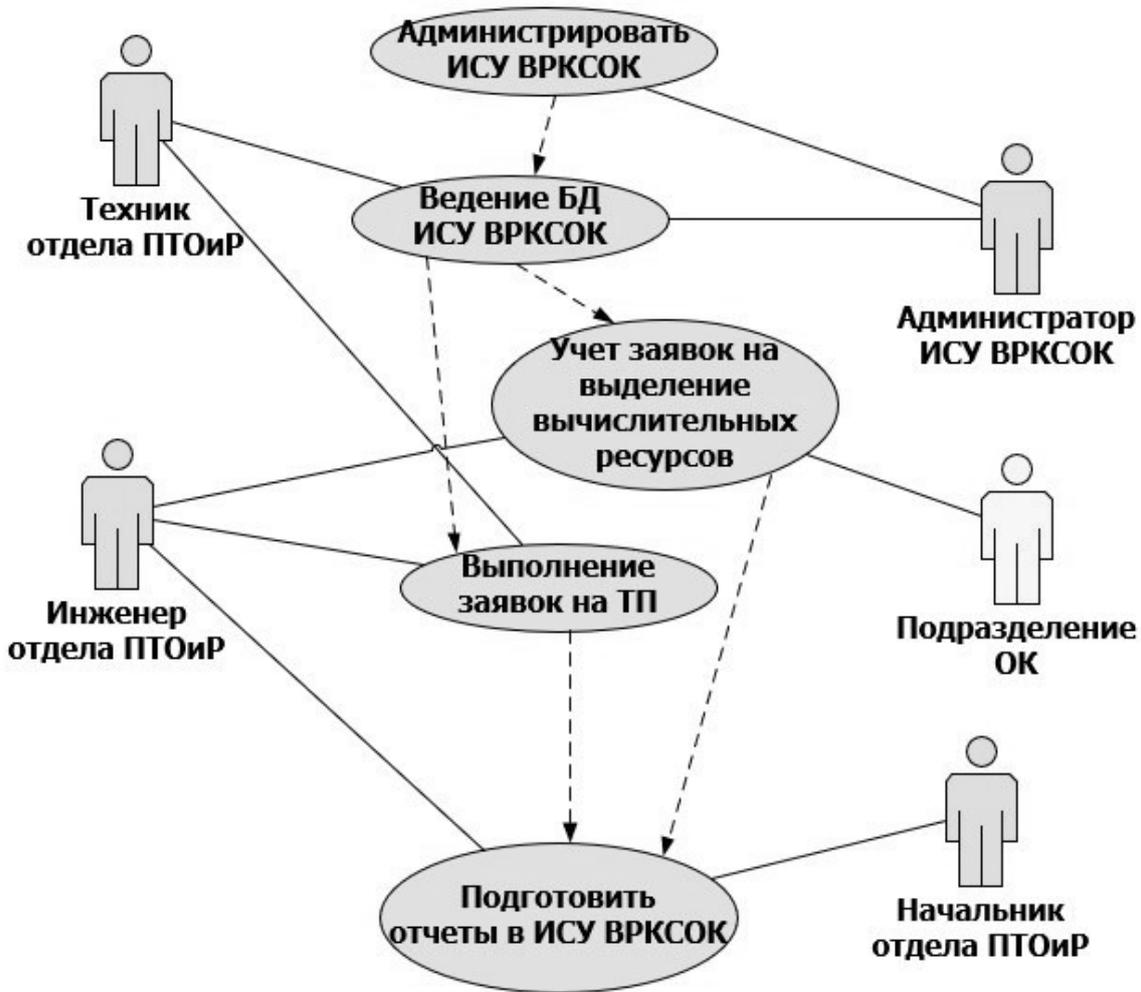


Рис. 1. Схема прецедентов процессов управления ВРКСОК

Схема описания процесса администрирования программного решения для управления ВРКСОК представлена на рисунке 2.

Ответственным лицом в процессе администрирования выступает Администратор программного решения, который входит в систему, имея администраторские права. Администратор может получить отказ в работе с системой, если возникнет какая-либо ошибка. Если все пройдет успешно, то администратор начинает свою работу с обработки заявки на получение доступа к ресурсам программного решения для управления ВРКСОК. Для этого необходимо выполнить ряд действий:

- ◆ определить выполняемый пользователем функционал и его права на доступ к соответствующим ресурсам в программном решении;
- ◆ осуществить регистрацию пользователя в программном решении;
- ◆ отслеживать пользовательские действия в программном решении.

После выполнения этих действий пользователю приходит сообщение, предоставляющее право доступа к ресурсам программного решения для управления ВРКСОК. После этого работа администратора заканчивается.

На следующем этапе происходит детализация процесса ведения базы данных программного решения для управления ВРКСОК, показанная на рисунке 3.

В данном процессе участвуют Администратор программного решения и Техник отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом. На данной стадии Администратор, успешно войдя в систему, занимается проверкой правильности заполнения регистрационного журнала и исключения объектов, получивших пометку об удалении, а также созданием резервной копии базы. Затем он собирает статистические данные о пользовательских действиях, сохраняет необходимую информацию и выходит из си-

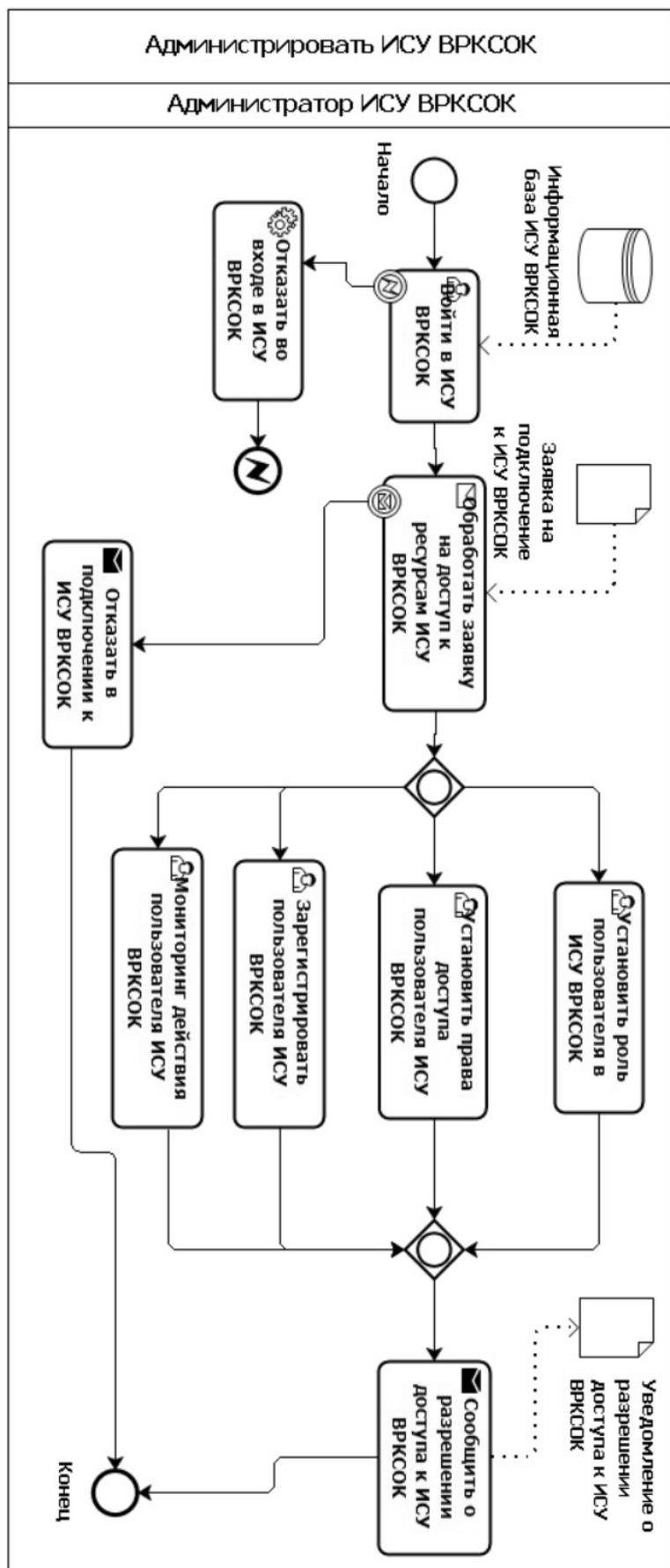


Рис. 2. Диаграмма процесса администрирования

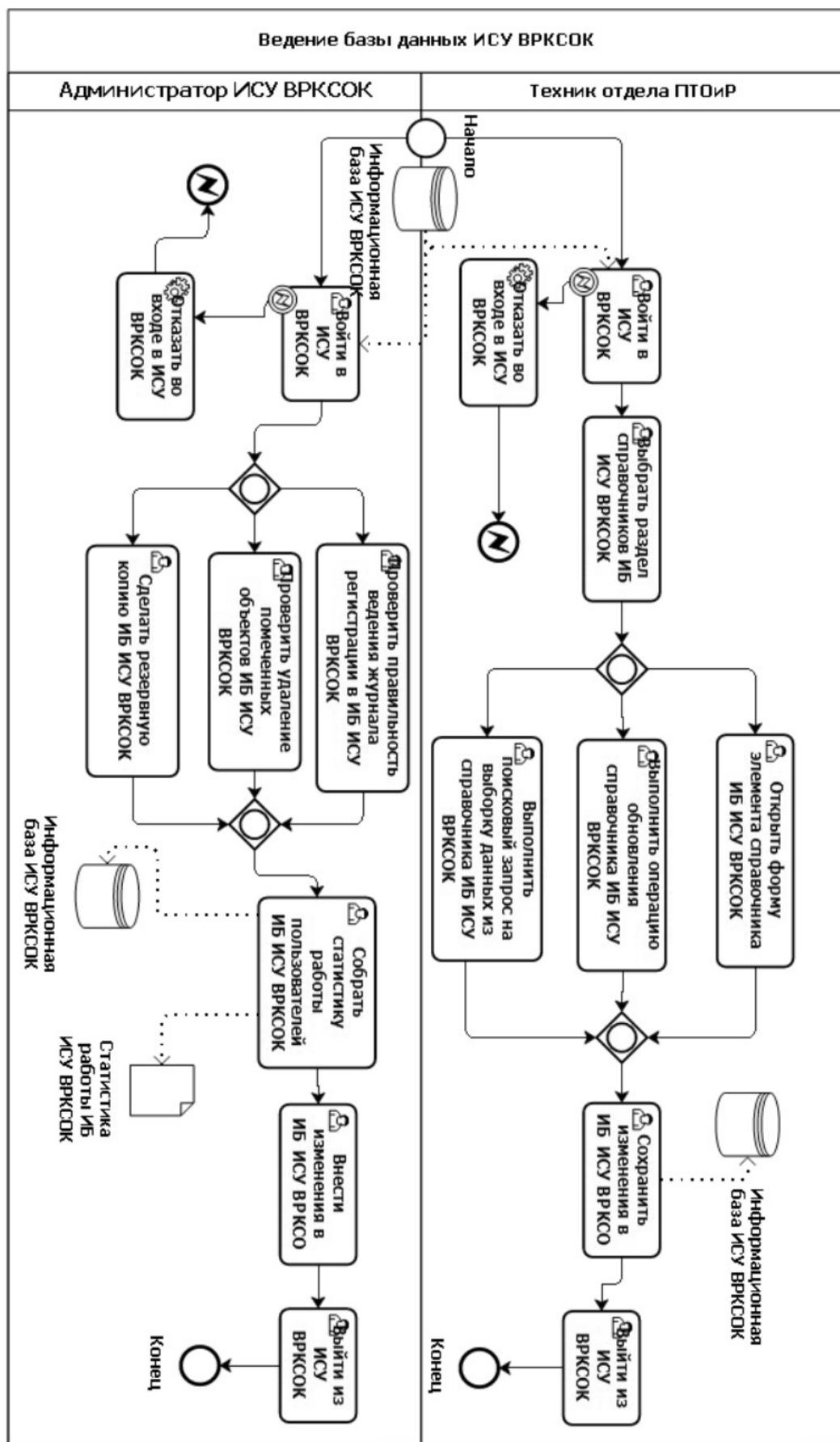


Рис. 3. Диаграмма процесса заполнения базы данных программного решения

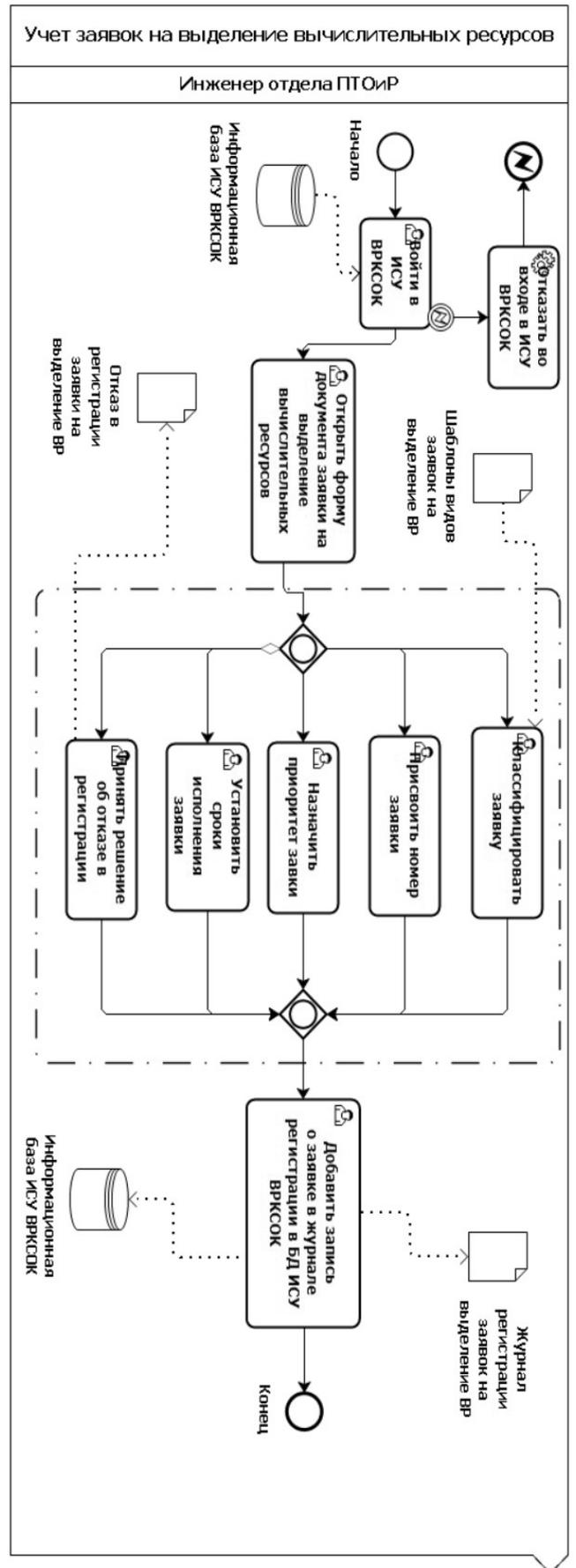


Рис. 4. Диаграмма процесса учета заявок на получение ВР

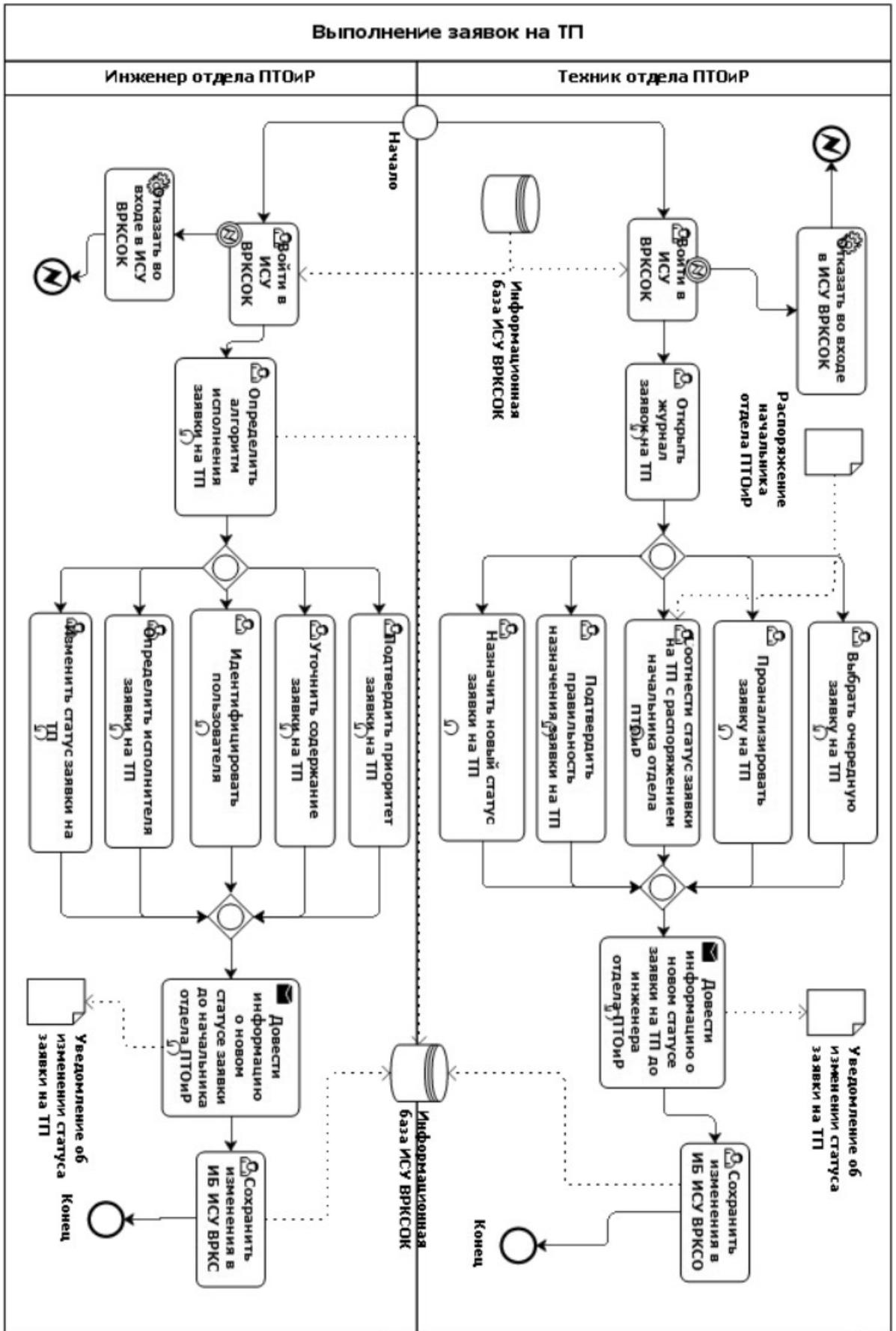


Рис. 5. Диаграмма процесса исполнения заявок на получение технической поддержки

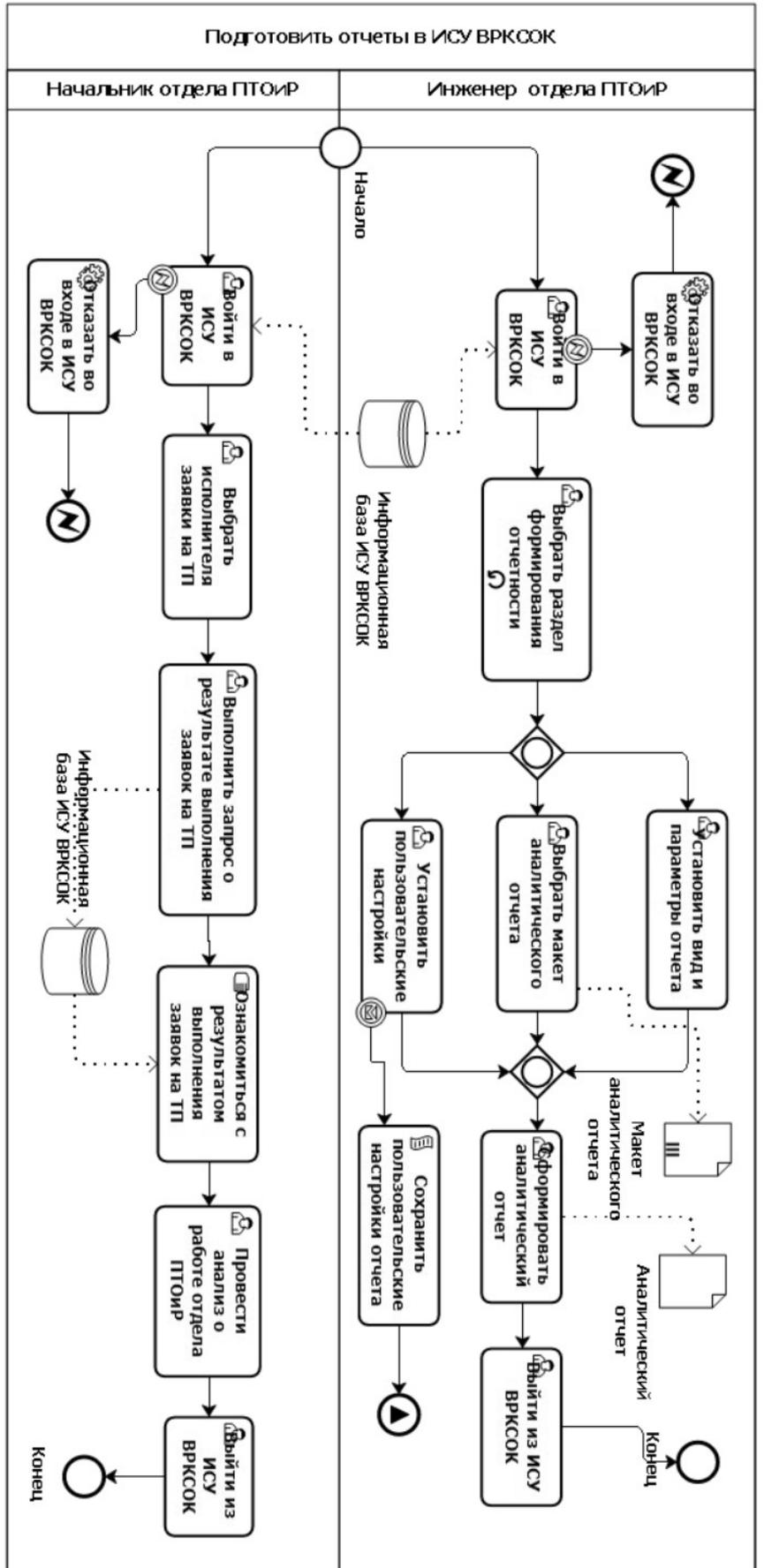


Рис. 6. Диаграмма процесса подготовки отчетности в программном решении для управления ВРКСОК

стемы. Если возникает какая-либо ошибка, администратор получает отказ в работе с системой.

Техник отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, входит в систему и начинает свою работу, выбирая разделы необходимых справочных документов, входящих в состав информационной базы (ИБ). Для этого он выполняет следующие действия:

- ◆ открывает форму элемента справочного документа ИБ программного решения;
- ◆ обновляет справочный документ ИБ программного решения;
- ◆ реализует запрос по поиску и выбору данных из справочного документа ИБ программного решения.

После этого техник сохраняет все произведенные изменения и выходит из системы. При возникновении ошибки на этапе входа в систему техник получает отказ в выполнении дальнейших действий в системе.

Схема описания процесса учета работы с заявками, содержащими запрос на получение ВР, представлена на рисунке 4.

В данном процессе принимает участие Инженер отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, который входит в систему с соответствующими правами доступа. Если возникнет какая-либо ошибка, инженеру будет отказано в доступе к ресурсам программного решения. В случае, если все пройдет успешно, инженер приступает к работе с формой документа заявки на получение ВР и осуществляет такие операции, как:

- ◆ распределение заявок по категориям;
- ◆ присвоение заявке соответствующего порядкового номера;
- ◆ определение приоритета выполнения заявки;
- ◆ определения временного промежутка исполнения поступившей заявки;
- ◆ принятие решения, содержащего отказ в присвоении заявке регистрационного номера.

После этого инженер записывает данные о заявке в регистрационном журнале.

Схема описания процесса исполнения заявок на получение технической поддержки показана на рисунке 5. В данном процессе принимают участие Инженер и Техник отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом.

Техник отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, входит в систему

с соответствующими правами. В случае возникновения ошибки технику приходит отказ в выполнении каких-либо действий. Если же все пройдет успешно, то техник приступает к работе с журналом заявок на техническую поддержку путем осуществления следующих действий:

- ◆ выбор следующей в порядке очередности заявки на техническую поддержку;
- ◆ анализ полученной заявки на техническую поддержку;
- ◆ соотнесение статуса полученной заявки на техническую поддержку с распорядительным документом руководителя отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом;
- ◆ проверка правильности направления заявки на техническую поддержку;
- ◆ назначение другого статуса заявке на техническую поддержку.

После выполнения этих действий данные о другом статусе заявки на техническую поддержку поступают к инженеру отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, и происходит сохранение внесенных изменений.

На данной стадии Инженер отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, успешно войдя в систему, задает порядок выполнения заявки на техническую поддержку и осуществляет следующие операции: подтверждение приоритетности заявки на техническую поддержку, выяснение деталей заявки на техническую поддержку, идентификация пользователя, определение лица, выполняющего заявку на техническую поддержку, и изменение статуса имеющейся заявки на техническую поддержку. После осуществления этих действий данные о другом статусе заявки поступают к руководителю отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, и происходит сохранение внесенных изменений. Если при входе в систему возникнет какая-либо ошибка, то инженер не сможет осуществить вход в систему.

Схема описания процесса подготовки отчетности в программном решении для управления ВРКСОК представлена на рисунке 6.

В этом процессе принимают участие Инженер и Начальник отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом.

Инженер входит в систему с соответствующими правами и выбирает раздел создания необходимой отчетной документации, устанавливает соответствующий вид и параметры ее формирования, выбирает макет

и устанавливает настройки пользователя. После этого инженер формирует аналитический отчет и выходит из системы. В случае возникновения ошибки инженер получает отказ в доступе к системе и выполнении дальнейших действий.

Начальник отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом, после входа в систему выбирает исполнителя заявки на техническую поддержку и выполняет запрос о результате выполнения заявок на техническую поддержку. После ознакомления с полученными результатами начальник проводит анализ работы отдела, занимающегося программно-техническим обеспечением и ремонтом,

и осуществляет выход из системы. В случае появления ошибки при входе начальник получает сообщение с отказом в доступе к ресурсам системы.

Заключение

Таким образом, был проведен анализ процесса управления корпоративными вычислительными ресурсами образовательной организации Московского региона и разработаны схемы функционирования программного решения [4, 5]. В дальнейшем будет разработано соответствующее программное решение, позволяющее автоматизировать данный процесс, на базе платформы 1С: Предприятие [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Наумов М.А., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Модель управления корпоративными вычислительными ресурсами образовательного комплекса // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 4–2. С. 40–47.
2. Ермакова Т.Н., Ромашкова О.Н. Математическая модель оценки финансовых показателей средней общеобразовательной организации // В книге: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. материалы Всероссийской конференции с международным участием. Российский университет дружбы народов. 2016. С. 93–95.
3. Тиханычев О.В., Саяпин О.В., Чискидов С.В., Саяпин М.О. Проблемные вопросы проведения информационного обследования как базового этапа разработки АСУ // Программные продукты и системы. 2019. № 1. С. 073–080.
4. Popomareva L.A., Chiskidov S.V., Romashkova O.N. Instrumental implementation of the educational process model to improve the rating of the universities // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings. 9. Сер. "Selected Papers of the Proceedings of the 9th International Conference Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems, ITMM 2019" 2019. С. 92–101.
5. Fedin F.O., Trubienko O.V., Chiskidov S.V. Assessment of intelligent decision support systems effectiveness in technological processes of big data processing // В сборнике: Proceedings — 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019. 2019. С. 8867640.
6. Наумов М.А., Ермакова Т.Н. Прототип информационной системы управления корпоративными вычислительными ресурсами образовательного комплекса // В книге: Международная молодежная научная школа-конференция «Цифровая трансформация реального сектора экономики». Сборник тезисов докладов. Москва, 2021. С. 177–180.

© Наумов Максим Александрович (manaumoo@yandex.ru),

Михалёва Татьяна Николаевна (ermaktat@bk.ru), Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ ПРИБОРОВ УЧЁТА В АСКУЭ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Тымчук Алексей Игоревич

Соискатель, Кубанский Государственный
Технологический Университет
aleximchuck@gmail.com

RELIABILITY CONTROL METHOD FOR DATA FROM AMR METERING DEVICES, BASED ON A FORECASTING POWER CONSUMPTION MODEL

A. Tymchuck

Summary. Purpose. Methods that are currently used in AMR to control the reliability of data, for monitoring the reliability of data from metering devices have disadvantages in terms of redundancy of electricity metering devices, redundant computing power and growth in the volume of system databases, which increases AMR implementation and maintenance cost. The reliability control of these metering devices using a mathematical apparatus will eliminate these shortcomings. Target. The target is to develop a method for monitoring the reliability of these metering devices in AMR that does not have the disadvantages of currently used methods, as well as to evaluate its effectiveness by creating on its basis an information system for AMR of an apartment building. Methods: the following methods were used to develop the technique and the information system that implements it — the Box-Jenkins method for building ARIMA models, the Foster-Stewart method to check if power consumption time series have a trend, the analysis of autocorrelation and partial autocorrelation functions to check power consumption time series for the presence of periodic interdependencies, the Dolado-Jenkins-Sausville-Riviero method and the extended Dickey-Fuller test to test power consumption time series for stationarity, the gradient descent method for training a forecasting power consumption neural network model. Novelty. The novelty of the method lies in the use of a forecasting power consumption model for reliability control of data from AMR metering devices. Results. The use of this method will reduce the search time in the AMR for electricity metering devices that transmit false data, which in turn will reduce power losses and the cost of the system maintenance Practical relevance. The developed method can be put into practice in an information system that interacts with the AMR databases. The forecasting power consumption model is built separately for each type of AMR control object. This article provides an example of using the method for an apartment building equipped with an AMR system.

Keywords: information system, power consumption forecasting, neural networks, ARIMA, AMR, data reliability control.

Аннотация. Постановка задачи: используемые в настоящее время в автоматизированных системах контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ) для проверки достоверности данных, методы контроля достоверности данных приборов учёта имеют недостатки в плане избыточности приборов учёта электроэнергии, избыточности вычислительных мощностей и разрастании объёма баз данных системы, что увеличивает стоимость реализации и обслуживания АСКУЭ. Контроль достоверности данных приборов учёта с использованием математического аппарата позволит устранить данные недостатки. Целью работы является разработка методики контроля достоверности данных приборов учёта в АСКУЭ не имеющего недостатков, имеющихся у используемых в настоящее время методов, а также оценка её эффективности путём создания на её основе информационной системы для АСКУЭ многоквартирного дома. Используемые методы: для разработки методики и реализующей её информационной системы были использованы следующие методы — метод Бокса-Дженкинса для построения ARIMA моделей, метод Фостера-Стюарта для проверки временных рядов электропотребления на наличие тренда, анализ автокорреляционных и частных автокорреляционных функций для проверки временных рядов электропотребления на наличие периодических взаимозависимостей, метод Доладо-Дженкинса-Сосвилла-Ривьеро и расширенный тест Дики-Фуллера для проверки временных рядов электропотребления на стационарность, метод градиентного спуска для обучения прогнозирующей нейросетевой модели электропотребления. Новизна: новизна разработанной методики заключается в использовании для контроля достоверности данных приборов учёта в АСКУЭ прогнозирующей модели электропотребления. Результат: использование данной методики позволит сократить время поиска в АСКУЭ приборов учёта электроэнергии, передающих недостоверные данные, что в свою очередь уменьшит потери электроэнергии и снизит расходы на её обслуживание. Практическая значимость: разработанная методика может быть реализована на практике в информационной системе, которая взаимодействует с базами данных АСКУЭ. Прогнозирующая модель электропотребления строится отдельно для каждого типа объекта контроля АСКУЭ. В данной статье приведён пример использования разработанной методики для многоквартирного дома, оборудованного системой АСКУЭ.

Ключевые слова: информационная система, прогнозирование электропотребления, нейронные сети, ARIMA, АСКУЭ, контроль достоверности данных.

Актуальность

Актуальность данной работы обусловлена активным развитием технологий в сфере автоматизации процессов и производства. В области контроля и учёта потребления электроэнергии важную роль играет автоматизация процессов сбора хранения и передачи информации с приборов учёта. Автоматизированные системы контроля и учёта, созданные для решения этой задачи, эффективно справляются с поставленными целями, однако, используемые ими в настоящее время методики контроля достоверности информации, передаваемой приборами учёта, имеют недостаточную экономическую эффективность.

В настоящее время в существующих АСКУЭ применяются два основных метода контроля достоверности данных, передаваемых приборами учёта электроэнергии, которые могут применяться как совместно, так и по отдельности.

1 Кластеризация всех принадлежащих АСКУЭ приборов учёта и использование для обнаружения в полученных кластерах приборов учёта, которые передают недостоверные данные, контрольных точек между кластерами. Например, в случае если кластером является множество приборов учёта многоквартирного дома, то контрольной точкой будет являться общедомовой прибор учёта.

7. Увеличение частоты опроса приборов учёта. Основным недостатком данного метода является то, что уменьшение временного интервала опроса может помочь только в случае если производится преднамеренное вмешательство в работу прибора. Во всех остальных случаях, большинством из которых будут являться технические неисправности приборов учёта, данный метод не принесёт необходимого результата, однако серьёзно увеличит нагрузку на используемые АСКУЭ каналы связи и увеличит объём передаваемой информации, что в свою очередь увеличит скорость заполнения центральной базы данных [1].

Постановка задачи

Проведённый анализ предметной области показывает, что используемые в настоящее время в АСКУЭ для проверки достоверности данных, методы кластеризации множества приборов учёта и увеличения частоты опроса приборов учёта имеют недостатки. Данные недостатки заключаются в наличии избыточности приборов учёта электроэнергии, избыточности вычислительных мощностей и разрастании объёма баз данных системы, что увеличивает стоимость реализации

и обслуживания АСКУЭ, снижая тем самым её экономическую эффективность. В свою очередь аналитические методы контроля достоверности данных, передаваемых приборами учёта электроэнергии в АСКУЭ, имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с методами, которые используются в настоящее время. В связи с этим была поставлена задача разработки методики контроля достоверности данных потребления электроэнергии в АСКУЭ и создания на её основе информационной системы для АСКУЭ многоквартирного дома.

Методика контроля достоверности данных потребления электроэнергии

Задачу контроля достоверности данных приборов учёта электроэнергии в АСКУЭ можно определить следующим образом:

Пусть O — объект контроля, оборудованный АСКУЭ.
 S — множество (кластер) приборов учёта электроэнергии объекта контроля O .

N — число приборов учёта электроэнергии во множестве S .

P_i — данные потребления электроэнергии i -го прибора учёта во множестве S на текущий момент времени.

ΔP_i — максимальный допустимый процент потерь электроэнергии для i -го прибора учёта.

D — подмножество приборов учёта во множестве S , передающих недостоверные данные.

R — подмножество приборов учёта во множестве S , отмеченных при использовании методики, как передающие недостоверные данные.

Необходимо для множества S объекта контроля O найти такое подмножество R , которое будет максимально возможным образом совпадать с подмножеством D .

Таким образом, на основании формальной постановки задачи, методику контроля достоверности данных приборов учёта электроэнергии в АСКУЭ можно представить следующим алгоритмом:

1. Если для каждого из приборов учёта электроэнергии выполняется, система неравенств (1), то перейти к выполнению второго пункта предложенной методики, иначе перейти к выполнению пятого пункта.

$$\begin{cases} P_i > P_i * (1 - \Delta P_i) \\ P_i < P_i * (1 + \Delta P_i) \end{cases} \quad (1)$$

2. Применить процедуру идентификации приборов учёта и выделить во множестве приборов учёта S подмножество приборов учёта R , максимально возможным образом совпадающее с подмножеством D приборов учёта, передающих недостоверные данные. Если подмножество $R = \emptyset$,

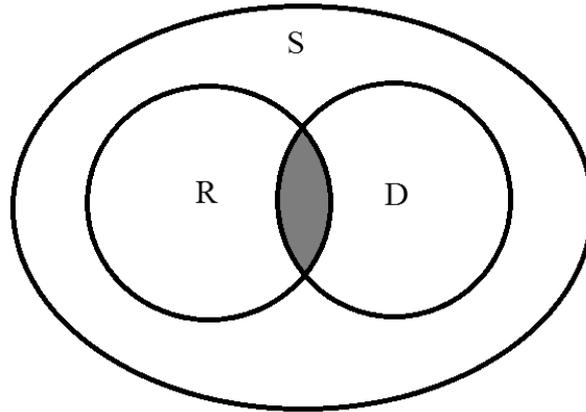


Рис. 1. Графическое представление задачи контроля достоверности данных приборов учёта электроэнергии в АСКУЭ

то перейти к выполнению четвёртого пункта предлагаемой методики, иначе перейти к пункту три.

3. Провести техническим персоналом автоматизированной системы контроля и учёта проверку приборов учёта, попавших во множество *R*. Перейти к первому пункту данной методики.
4. Провести техническим персоналом автоматизированной системы контроля и учёта проверку всех приборов учёта из множества *S*.
5. Завершить выполнение проверки.

Идентификации приборов учёта с использованием прогнозирующей модели электропотребления

Поскольку хранящаяся в базе данных АСКУЭ информация о потреблении электроэнергии может быть представлена в виде временных рядов, то для решения задачи идентификации приборов учёта электроэнергии в АСКУЭ возможно применение методов статистического анализа временных рядов.

Для этого используем временной ряд значений каких-либо параметров исследуемого процесса за равные промежутки времени. Одной из основных целей анализа временных рядов является прогнозирование его поведения. Поэтому идентификация приборов учёта электроэнергии в АСКУЭ может быть произведена при помощи прогнозирующей модели потребления электроэнергии, использующей для решения поставленной задачи сравнение прогнозированного значения электропотребления для текущего момента времени с исходным значением электропотребления для того же момента времени.

Формально задачу идентификации приборов учёта электроэнергии в АСКУЭ с применением прогнозиру-

ющей модели потребления можно определить следующим образом:

Пусть X_{nm} — матрица из n различных временных рядов потребления электроэнергии, каждый из которых имеет одинаковый период контроля m .

$$\begin{pmatrix} X_{11} & \dots & X_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \dots & X_{nm} \end{pmatrix}, \tag{2}$$

Необходимо проверить достоверность данных вектора $(X_{1m} \dots X_{nm})$ используя значения векторов $(X_{i1} \dots X_{im-1})$ для всех $i = 1 \dots n$.

Для решения этой задачи необходимо для каждого вектора $(X_{i1} \dots X_{im-1})$ $i = 1 \dots n$ построить прогнозирующую модель и с их помощью построить вектор прогнозных значений $(X'_{1m} \dots X'_{nm})$ и проведя сравнение его значений с соответствующими значениями вектора $(X_{1m} \dots X_{nm})$ сделать выводы о достоверности данных последнего.

Исходя из этого, условие достоверности данных приборов учёта можно записать в виде системы уравнений (3):

$$\begin{cases} X_{im} \leq X'_{im} * (1 + \Delta X_{im}) \\ X_{im} \geq X'_{im} * (1 - \Delta X_{im}), \\ i = 1 \dots n \end{cases} \tag{3}$$

Максимальное допустимое значение отклонения прогноза от исходных данных при оценке достоверности данных потребления для каждого конкретного прибора учёта ΔX_i вычисляется по формуле (4).

$$\Delta X_{im} = P_m + P_t, \tag{4}$$

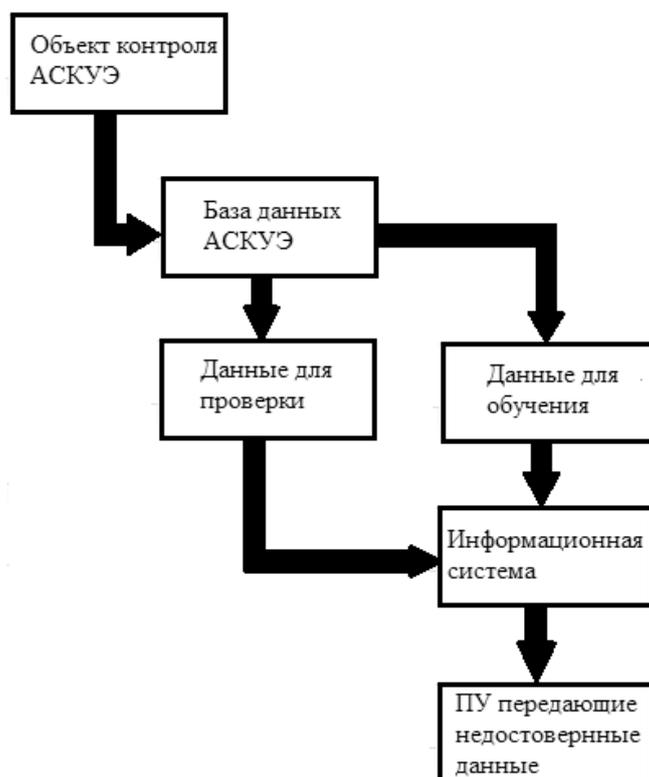


Рис. 2. Модель взаимодействия ИС с внешней средой

где:

P_m — погрешность прогноза модели потребления электроэнергии;

P_t — класс точности прибора учёта.

Погрешность прогноза модели потребления определяется при проведении оценки её адекватности путём вычисления среднего значения отклонения данных исходного ряда электропотребления от данных ряда, который был получен с использованием прогнозирующей модели.

Класс точности приборов учёта электроэнергии определяется с учётом задач, решаемых автоматизированной системой контроля электроэнергии и конкретным прибором учёта. Руководящим документом для определения класса точности прибора учёта является Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 159–2016 «Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учёта электроэнергии» [2], а конкретно Таблица 1 этого документа.

Таким образом, для определения достоверности данных потребления электроэнергии в АСКУЭ с использованием прогнозирующей модели необходимо применение следующего алгоритма действий:

1. Учесть класс точности для каждого прибора учёта.
2. Определить погрешность прогнозирующей модели для каждого прибора учёта.
3. Вычислить максимальное допустимое значение отклонения прогноза от реальных данных для каждого прибора учёта.
4. Используя условие проверки достоверности оценить достоверность данных потребления электроэнергии для каждого прибора учёта.

Временной ряд потребления электроэнергии имеет равные промежутки между измерениями, следовательно, для построения прогнозирующей модели потребления электроэнергии на основе временных рядов могут быть применены «модели Бокса-Дженкинса или *ARIMA* модели» [3].

Структура информационной системы

Для решения задачи контроля достоверности данных потребления электроэнергии в АСКУЭ многоквартирного дома на основе рассмотренной выше методики была разработана информационная система. Структура информационной системы представлена моделями взаимодействия данной ИС с внешней средой на рис. 2 и внутреннего устройства ИС — на рис. 3.

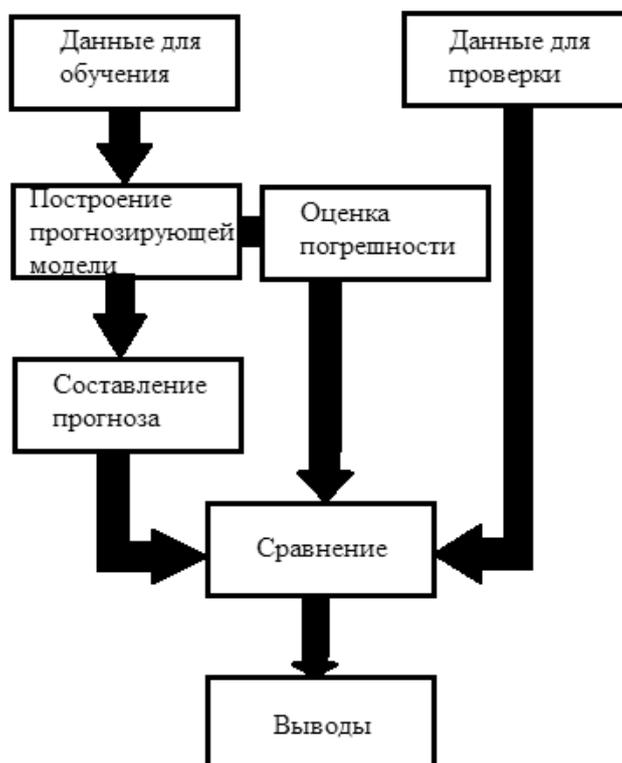


Рис. 3. Модель внутреннего устройства ИС

Источником исходных данных для информационной системы является база данных АСКУЭ объекта контроля. Информационная система получает из БД АСКУЭ данные потребления электроэнергии, зафиксированные приборами учёта объекта контроля, за некоторый период времени, достоверность которых была подтверждена путём проведения проверки приборов учёта, а также данные потребления электроэнергии, зафиксированные теми же приборами учёта, полученные после проведения проверки приборов учёта, достоверность которых необходимо проверить. Используя представленную ранее методику контроля достоверности данных, ИС проводит анализ полученной информации и предоставляет пользователю заключение о достоверности или недостоверности данных, передаваемых проверяемыми приборами учёта. На рис. 2 функционирование самой информационной системы представлено по принципу «чёрного ящика». Модель на рис. 3 раскрывает данный «чёрный ящик» и показывает объекты и взаимодействия между ними внутри информационной системы.

ARIMA модель электропотребления многоквартирного дома

Применение методики контроля достоверности данных потребления электроэнергии в АСКУЭ требу-

ет проведения идентификации приборов учёта электропотребления. Для идентификации приборов учёта согласно этой методике необходимо построить прогнозирующую *ARIMA* модель потребления электроэнергии. Для АСКУЭ многоквартирного дома данная представляет собой сумму отдельных прогнозирующих моделей каждого отдельного входящего в неё прибора учёта.

Для построения прогнозирующей *ARIMA* модели потребления отдельного прибора учёта необходимо определить тип данной модели. Для решения данной задачи были использованы данные потребления электроэнергии восьми разных приборов учёта за период в тринадцать месяцев, которые представлены в таблице 1, и применена методология построения *ARIMA* моделей Бокса-Дженкинса [4].

Согласно первому шагу методологии Бокса-Дженкинса, необходимо проверить данные на наличие в них линейного тренда, периодической зависимости и стационарности. Для проверки гипотезы о наличии в каждом из рядов из таблицы 1 тренда был проведён их анализ методом Фостера-Стюарта [5].

Согласно таблице критических значений *t*-критерия Стьюдента [6] для $n = 13$ при уровне значимости

Таблица 1. Исходные данные

№	Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8
1	01.2020	332	1319	139	236	88	148	190	707
2	02.2020	307	1240	130	274	89	119	185	805
3	03.2020	306	1053	124	34	85	118	169	755
4	04.2020	266	956	135	118	87	138	190	638
5	05.2020	275	870	130	131	112	123	187	688
6	06.2020	316	854	119	125	140	126	257	638
7	07.2020	275	544	165	218	95	173	569	360
8	08.2020	329	433	218	195	97	159	662	283
9	09.2020	337	448	147	205	98	108	333	273
10	10.2020	297	482	197	114	76	238	256	340
11	11.2020	352	1201	166	134	81	70	201	533
12	12.2020	287	932	121	129	82	117	186	824
13	01.2021	282	1029	120	139	236	88	173	882

Таблица 2. Результаты анализа рядов из таблицы 1 методом Фостера-Стюарта

№ Ряда	s	d	t_s	t_d	Тренд в средних	Тренд в дисперсиях
1	-1	5	0,483	0,551	нет	нет
2	-7	7	3,383	2,084	да	нет
3	-1	5	0,483	0,551	нет	нет
4	0	2	0	1,748	нет	нет
5	2	6	2,416	1,317	да	нет
6	-2	6	2,416	1,317	да	нет
7	1	5	0,483	0,551	нет	нет
8	-1	7	0,483	2,084	нет	нет

Таблица 3. Результаты анализа АКФ и ЧАКФ рядов из таблицы 1

№ Ряда	№ Лага на котором достигнут максимум АКФ	№ Лага на котором достигнут максимум ЧАКФ
1	4	4
2	1	1
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	1	1
8	1	1

$p = 0,05$ значение равно 2,160. При сравнении данного значения с полученными результатами в таблице 2 видно, что для всех рядов за исключением второго они не превышают критического значения. Для второго ряда значение показателя t_s больше критического значения t -критерия Стьюдента при уровне значимости $p = 0,05$. Это позволяет сделать вывод о том, что ряды под номерами два, пять и шесть имеют тренд в средних значениях, также есть вероятность того, что ряды под номерами два и восемь имеют тренд в дисперсиях, по-

скольку значение показателя t_d для них очень близко к критическому значению.

Второй шаг методики Бокса-Дженкинса — проверка данных на наличие периодических зависимостей. Для проверки данных из таблицы 1 на наличие периодической зависимости, для всех рассматриваемых рядов, были построены автокорреляционная функция (АКФ) и частная автокорреляционная функция (ЧАКФ) с коэффициентами до двенадцатого порядка включительно,

Таблица 4. Результаты анализа рядов из таблицы 1 на стационарность

№	ADF с константой и трендом	ADF с константой, но без тренда	ADF без константы и тренда	Стационарность по ДФ критерию
1	Стационарный, $p = 0,08$	Стационарный, $p = 0,007$	-	Стационарный
2	Нестационарный, $p = 0,21$	Стационарный, $p = 0,08$	-	Стационарный
3	Стационарный, $p = 0,07$	Стационарный, $p = 0,05$	-	Стационарный
4	Стационарный, $p = 0,06$	Стационарный, $p = 0,02$	-	Стационарный
5	Нестационарный, $p = 0,25$	Нестационарный, $p = 0,18$	Нестационарный, $p = NA$	Нестационарный
6	Стационарный, $p = 0,002$	-	-	Стационарный
7	Нестационарный, $p = 0,21$	Стационарный, $p = 0,05$	-	Стационарный
8	Стационарный, $p = 0,04$	-	-	Стационарный

поскольку предположительно периодическая зависимость рядов связана с числом месяцев в году. Результаты анализа приведены в таблице 3.

Третий шаг методики Бокса-Дженкинса — проверка рядов на стационарность. Для проверки рядов потребления электроэнергии из таблицы 1 на стационарность был применён метод Доладо-Дженкинса-Сосвилла-Ривьеро [7], использующий комбинацию расширенных тестов Дики-Фуллера [8] результаты которых представлены в таблице 4.

Проведённый анализ временных рядов потребления электроэнергии из таблицы 1 показал, что временной ряд потребления электроэнергии на исследуемом промежутке:

1. может быть, как стационарным, так и не стационарным (не прогнозируемым);
2. может содержать периодическую зависимость;
3. может содержать линейный или нелинейный тренд, либо не иметь тренд вовсе.

С учётом присутствующего разнообразия в параметрах ряда построение некоей универсальной модели ряда потребления электроэнергии в многоквартирном доме не представляется возможным. Поэтому для каждого временного ряда потребления электроэнергии представляющая его математическая модель должна подбираться индивидуально с учётом его параметров.

Ряд под номером один на графиках АКФ и ЧАКФ имеет единственное значимое значение на четвёртом лаге [9], следовательно, он должен быть представлен моделью $ARMA(4,0)$ или $AR(4)$. Однако такой высокий, в отличие от остальных, параметр авторегрессионной модели неудобен при прогнозировании ряда нейронной сетью. Поэтому было произведено исследование конечных разностей данного ряда и было определено, что вторая конечная разность данного ряда может быть представлена моделью $AR(1)$, а следовательно, ряд под

номером один может также быть представлен моделью $ARMA(1,2,0)$.

Ряды под номерами два, семь и восемь на графиках АКФ и ЧАКФ имеют единственное значимое значение на первом лаге [9]. Следовательно, данные ряды могут быть представлены моделями $ARMA(1,0)$ или $AR(1)$.

Ряд номер три на графиках АКФ и ЧАКФ не имеет значимых значений, однако вторая конечная разность данного ряда на графике АКФ имеет единственное значимое значение на первом лаге [9] и на графике ЧАКФ значимые значения на первом и втором лагах и наибольшее из них на втором. Таким образом данный ряд является разностно-стационарным рядом второго порядка и может быть представлен моделью $ARIMA(0,2,2)$.

Ряд под номером четыре на графиках АКФ и ЧАКФ не имеет значимых значений, однако вторая конечная разность данного ряда на графиках АКФ и ЧАКФ имеет единственное значимое значение на первом лаге [9]. Таким образом данный ряд является разностно-стационарным рядом второго порядка и может быть представлен моделью $ARIMA(1,2,0)$.

Ряд под номером пять согласно ADF тестам нестационарный, первая и вторая разности данного ряда также нестационарные. Следовательно, ряд не является разностно-стационарным [9], а следовательно, является непрогнозируемым при помощи $ARIMA$ моделей. Такое поведение ряда обусловлено аномально высоким последним значением ряда, возникшим в результате форс-мажорного события, что обусловило резкий скачок потребления электроэнергии. Поскольку ряд является непрогнозируемым, то оценка достоверности данных с использованием предложенной ранее методики невозможна.

Ряд под номером шесть на графиках АКФ и ЧАКФ не имеет значимых значений, однако первая разность

Таблица 5. Количество нейронов входного и скрытого слоя для моделей $ARMA(p,q)$ до второго порядка включительно

Модель	Число параметров модели	Число нейронов во входном слое	Число нейронов в скрытом слое
ARMA(0,1)	3	1	3
ARMA(0,2)	4	2	4
ARMA(1,0)	3	1	3
ARMA(1,1)	4	1	4
ARMA(1,2)	5	2	5
ARMA(2,0)	4	2	4
ARMA(2,1)	5	2	5
ARMA(2,2)	6	2	6

данного ряда на графиках АКФ и ЧАКФ имеет единственное значимое значение на первом лаге [9]. Таким образом данный ряд является разностно-стационарным рядом первого порядка и может быть представлен моделью $ARIMA(1,1,0)$.

Таким образом ряды потребления электроэнергии в многоквартирном доме могут быть представлены множеством моделей $ARIMA(p,d,q)$, где $(p,d,q) \in [0,2]$, $p+q \geq 1$.

Прогнозирующая нейросетевая модель

Так как потребление электроэнергии отдельными приборами учёта в АСКУЭ многоквартирного дома может быть представлено при помощи множества моделей $ARIMA(p,d,q)$, где $(p,d,q) \in [0,2]$, $p+q \geq 1$, то построение прогнозирующей модели потребления электроэнергии может быть осуществлено при помощи набора искусственных нейронных сетей [10], реализующих данные $ARIMA(p,d,q)$ модели. Модели $ARIMA(p,d,q)$ приводятся к моделям $ARMA(p,q)$ посредством взятия конечных разностей ряда порядка d , которое происходит до обработки ряда нейронной сетью. Поэтому конфигурация нейронной сети зависит исключительно от параметров p и q . Для реализации этих моделей нейронная сеть должна иметь помимо входного и выходного слоя один скрытый слой, который представляет собой параметры уравнения $ARMA$ модели. Число нейронов в выходном слое равно одному, а число нейронов во входном и скрытом слое зависит от порядка модели и представлено в таблице 5. Общая структура данных нейронных сетей может быть представлена формулой:

$$(a * I, b * H, 1 * O), \quad (5)$$

где:

a — число нейронов входного слоя;

b — число нейронов скрытого слоя;

I, H, O — входной, скрытый и выходной слои нейронной сети.

Поскольку модели $ARMA(p,q)$ состоят из двух моделей $AR(p)$ и $MA(q)$, а максимальный порядок модели не превышает двух, то уравнения составных частей модели могут иметь вид:

1. $X_t = c + a_1 * X_{t-1} + \varepsilon_t$ для модели $AR(1)$;
2. $X_t = c + a_1 * X_{t-1} + a_2 * X_{t-2} + \varepsilon_t$ для модели $AR(2)$;
3. $X_t = c + b_1 * \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$ для модели $MA(1)$;
4. $X_t = c + b_1 * \varepsilon_{t-1} + b_2 * \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t$ для модели $MA(2)$.

Для нейронной сети неважно в каких именно комбинациях данных уравнений будет представлено уравнение прогнозирующей модели ряда, важно лишь количество параметров в данных уравнениях как показано в таблице 5. Поскольку модели AR и MA имеют повторяющиеся параметры c и ε_t , то их возможно суммировать, тем самым уменьшив число нейронов в скрытом слое нейронной сети.

Из таблицы 5. видно, что существует восемь $ARMA$ моделей, имеющих порядок до второго включительно, однако, имеется три пары моделей, которые могут быть представлены одинаковыми нейронными сетями. Таким образом для представления $ARMA$ моделей, имеющих порядок до второго включительно, достаточно пяти различных конфигураций нейронной сети.

Каждая из данных нейронных сетей использует для обучения и работы наборы величин потребления электроэнергии. Количество величин в наборе зависит от конфигурации нейронной сети и равно числу нейронов в входном слое плюс один. Эти обучающие наборы получены путём нормирования и разбиения на части временных рядов потребления электроэнергии, полученных информационной системой, при этом

число выборок равно длине ряда минус число входных нейронов сети минус один. Нормирование ряда производится путём деления всех его членов на значение наибольшего члена ряда.

Скрытый слой нейронных сетей производит вычисление параметров уравнения *ARMA* модели. Функция активации для нейронов данного слоя должна удовлетворять следующим условиям:

1. Наличие аналоговых входных и выходных сигналов;
2. Область значений $(-1,1)$, параметры уравнения могут быть отрицательными и по причине нормированности входных параметров не могут превышать по модулю единицу.

Исходя из первого требования к функции активации она должна относиться к классу сигмоидальных функций активации поскольку только данный класс обладает аналоговыми выходными сигналами вместо бинарных. При проверке на практике из использованных сигмоидальных функций активации наибольшую эффективность показала функция активации в виде гиперболического тангенса, которая и была применена в качестве функции активации для скрытого слоя нейронных сетей.

Выходной слой производит оценку полученного значения ошибки. Для оценки результатов работы алгоритма необходимо построить функцию оценки. В качестве метода оценки для нейронной сети построения модели потребления электроэнергии был выбран метод наименьших квадратов — сумма квадратов расстояний от выходных сигналов нейронной сети до их требуемых значений. Функция оценки для данной нейронной сети имеет вид (6).

$$H = (Z - Z')^2, \tag{6}$$

где:

H — значение функции.

Z — требуемое значение.

Z' — выходное значение нейронной сети.

Выбор пороговой величины выхода нейронной сети оказывает существенное влияние на её работу. Слишком малое значение пороговой величины, увеличит время обучения нейронной сети или сделает её обучение невозможной, в тоже время слишком высокое значение пороговой величины снизит качество её работы. Поскольку идеальное выходное значение созданной нейронной сети должно быть равно последнему значению в обучающем наборе, то в качестве пороговой величины по результатам практических испытаний было выбрано значение 0,025.

Так как нейронная сеть является однослойным персептроном, то для её обучения был выбран наиболее часто применяемый в подобном случае метод обратного распространения ошибки (модификация метода градиентного спуска), так как он обладает простотой реализации и имеет высокую скорость сходимости.

Оценка эффективности информационной системы

Выбор критериев для оценки эффективности работы, информационной системы, использующей для контроля достоверности прогнозирующую нейросетевую модель электропотребления был проведён на основе следующих задач:

1. Минимизация ошибок идентификации приборов учёта.
2. Минимизация затрат времени на идентификацию приборов учёта.

Поскольку обе задачи имеют равнозначную важность, то критерием оценки эффективности работы (7) созданной информационной системы и сравниваемых методов контроля достоверности является среднее суммы критериев эффективности решения этих задач.

$$E_I = 0,5 * E_T + 0,5 * E_K, \tag{7}$$

где:

E_I — общая оценка эффективности рассматриваемого метода контроля достоверности.

E_T — оценка эффективности метода контроля достоверности при решении задачи минимизации затрат времени.

E_K — оценка эффективности метода контроля достоверности при решении задачи минимизации ошибок идентификации приборов учёта.

Задачу минимизации ошибок идентификации приборов учёта можно разбить на две подзадачи:

1. Минимизировать число ошибок первого рода.
2. Минимизировать число ошибок второго рода.

В контексте рассматриваемой задачи ошибка первого рода — прибор учёта, который передаёт недостоверные данные, но был отмечен методом контроля достоверности как передающий достоверные данные. Ошибка второго рода — прибор учёта электроэнергии, передающий достоверные данные, который был ошибочно отмечен методом контроля достоверности как передающий недостоверные данные. Таким образом, критерий эффективности решения задачи минимизации ошибок идентификации приборов учёта (8) состоит из двух компонент, которые имеют одинаковую значимость и может быть определён показанным ниже образом.

Таблица 6. Данные для обучения нейросетевой модели

№ ПУ	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сеп.	Окт.	Ноя.	Дек.	Янв.
1	332	307	306	266	275	316	275	329	337	297	352	287	282
2	1319	1240	1053	965	870	854	544	433	448	482	1201	932	1029
3	139	130	124	135	130	119	165	218	147	197	166	121	120
4	236	274	34	118	131	125	218	195	205	114	134	129	139
5	88	89	85	87	112	140	95	97	98	76	81	82	236
6	148	119	118	138	123	126	173	159	108	238	70	117	88
7	190	185	169	190	187	257	569	662	333	256	201	186	173
8	707	805	755	638	688	638	360	283	273	340	533	824	882

Таблица 7. Тестовые данные

№ ПУ	Реальные данные	Отклонение -5%
1	359	341
2	1112	1057
3	133	126
4	130	123
5	274	260
6	88	84
7	195	185
8	750	712

$$E_K = 0,5 * \frac{F_2}{F_1} + 0,5 * \frac{T_2}{T_1} \quad (8)$$

где:

E_K — критерий эффективности решения задачи минимизации ошибок идентификации приборов учёта.

F_1 — количество приборов учёта электроэнергии в выборке, которые передают недостоверные данные.

F_2 — количество приборов учёта электроэнергии в выборке, передающих недостоверные данные, которые были обнаружены.

T_1 — количество приборов учёта электроэнергии в выборке, передающих достоверные данные.

T_2 — количество приборов учёта электроэнергии в выборке, передающих достоверные данные, которые были отмечены правильно.

В качестве критерия оценки эффективности решения второй задачи (9) было выбрано отношение времени, затрачиваемого на проверку приборов учёта, отмеченных методом контроля достоверности, как передающие недостоверные данные, к времени, затрачиваемому на проверку всех приборов учёта объекта контроля АСКУЭ с учётом эффективности их поиска. Если взять некоторое среднее время проверки одного прибора учёта специалистом, то вместо переменных времени в критерии (9) возможно использовать переменные числа приборов учёта.

$$E_T = \frac{N_1 - N_2}{N_1} * E_f, \quad (9)$$

где:

N_1 — число всех приборов учёта электроэнергии.

N_2 — число приборов учёта, которые необходимо проверить;

E_f — процент найденных приборов учёта, передающих недостоверные данные.

Для сравнения оценки эффективности решения поставленных задач созданной информационной системой, в сравнении с другими методами, были взяты используемые в настоящее время в АСКУЭ, для решения аналогичных задач, методы «полная проверка всех приборов учёта специалистом» [1] — М1 и «увеличение частоты опроса приборов учёта» [1] — М2. Для проведения оценки были использованы данные электропотребления из таблицы 6 и таблицы 7.

Согласно критерия (8), была произведена сравнительная оценка информационной системы с методами М1 и М2. Результаты представлены в таблицах 8 и 9.

После проведения анализа данных из таблицы 8 и таблицы 9 были сделаны выводы о том, что созданная информационная система имеет, эффективность 75% на достоверных данных, эффективность 87,5% на недостоверных данных и среднюю эффективность 81,25%.

Ошибка в определении достоверности данных происходит, в случае если временной ряд электропотре-

Таблица 8. Идентификация ПУ, передающих достоверные данные, созданной информационной системой

№	Значение	Прогноз	Отклонение	Вывод ИС
1	1	0,98	1,91%	Достоверные
2	1	1	0,08%	Достоверные
3	1	0,99	0,68%	Достоверные
4	0,94	0,67	40,55%	Недостоверные
5	1	1	0%	Достоверные
6	0,75	0,85	13,03%	Недостоверные
7	1	0,99	0,75%	Достоверные
8	0,85	0,84	1,36%	Достоверные

Таблица 9. Оценка качества идентификации ПУ, передающих недостоверные данные с отклонением –5%, созданной информационной системой

№	Значение	Прогноз	Отклонение	Вывод ИС
1	1	0,97	3,28%	Недостоверные
2	1	0,87	15,52%	Недостоверные
3	1	0,82	21,31%	Недостоверные
4	0,88	0,67	31,64%	Недостоверные
5	1	1	0%	Достоверные
6	0,72	0,81	12,50%	Недостоверные
7	0,99	0,95	4,29%	Недостоверные
8	0,81	0,89	10,24%	Недостоверные

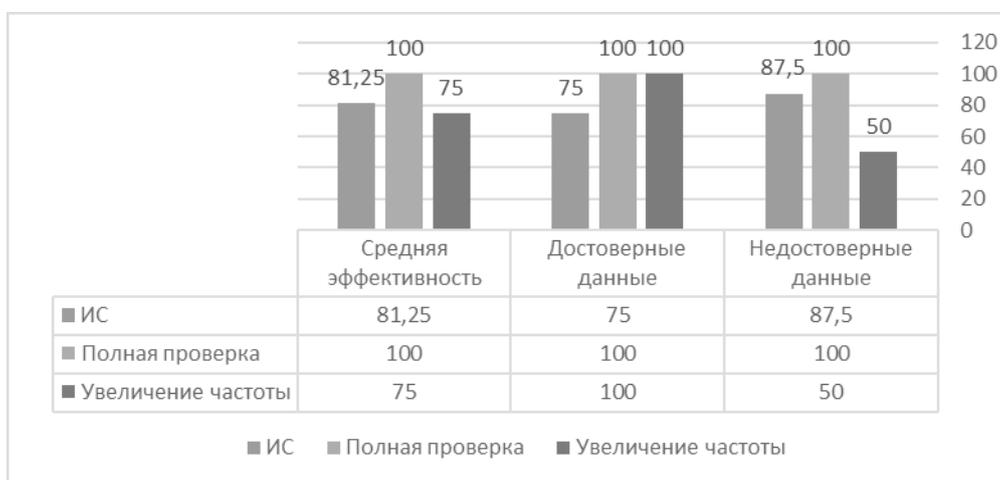


Рис. 4. Сравнительная диаграмма эффективности согласно критерию № 1

бления является нестационарным. Поскольку метод «полная проверка всех приборов учёта специалистом» заключается в проверке всех рассматриваемых приборов учёта экспертом человеком, то его эффективность согласно критерию (8) приближается к 100%.

Для информационной системы и метода М1, не имеет значения, по какой причине возникла недостовер-

ность данных, однако для метода М2 причина возникновения недостоверности данных существенным образом влияет на его эффективность. Проблема заключается в том, что данный метод рассчитан на поиск несанкционированных вмешательств в работу прибора учёта, которые не были замечены АСКУЭ. Поэтому согласно критерию (8) эффективность решения данным методом задачи минимизации ошибок идентификации

Таблица 10. Эффективность информационной системы по критерию (9)

№ Испытания	Число ПУ	Число ПУ с НД	Число ПУ, которые необходимо проверить	Затраченное время	Эффективность
1	10	1	3	3	61,25%
2	20	2	6	6	61,25%
3	30	4	11	11	55,39%
4	40	5	13	13	59,06%
5	50	5	15	15	61,25%
6	60	6	18	18	61,25%
7	70	7	21	21	61,25%
8	80	9	25	25	60,16%
9	90	10	28	28	60,27%
10	100	11	32	32	59,5%

Таблица 11. Эффективность метода М1 по критерию (9)

№ Испытания	Число ПУ	Число ПУ с НД	Число ПУ, которые необходимо проверить	Затраченное время	Эффективность
1	10	1	10	10	0%
2	20	2	20	20	0%
3	30	4	30	30	0%
4	40	5	40	40	0%
5	50	5	50	50	0%
6	60	6	60	60	0%
7	70	7	70	70	0%
8	80	9	80	80	0%
9	90	10	90	90	0%
10	100	11	100	100	0%

Таблица 12. Эффективность метода М2 по критерию (9)

№ Испытания	Число ПУ	Число ПУ с НД	Число ПУ, которые необходимо проверить	Затраченное время	Эффективность
1	10	1	1	1	45%
2	20	2	1	1	47,5%
3	30	4	2	2	46,65%
4	40	5	3	3	46,25%
5	50	5	3	3	47%
6	60	6	3	3	47,5%
7	70	7	4	4	47,15%
8	80	9	4	4	27,5%
9	90	10	5	5	47,2%
10	100	11	6	6	47%

Таблица 13. оценка эффективности по критерию (7)

Название	Критерий № 1	Критерий № 2	Общая эффективность
ИС	60,02%	81,25%	70,64%
«Полная проверка»	0%	100%	50%
«Увеличение частоты опроса»	47,5%	75%	61,25%

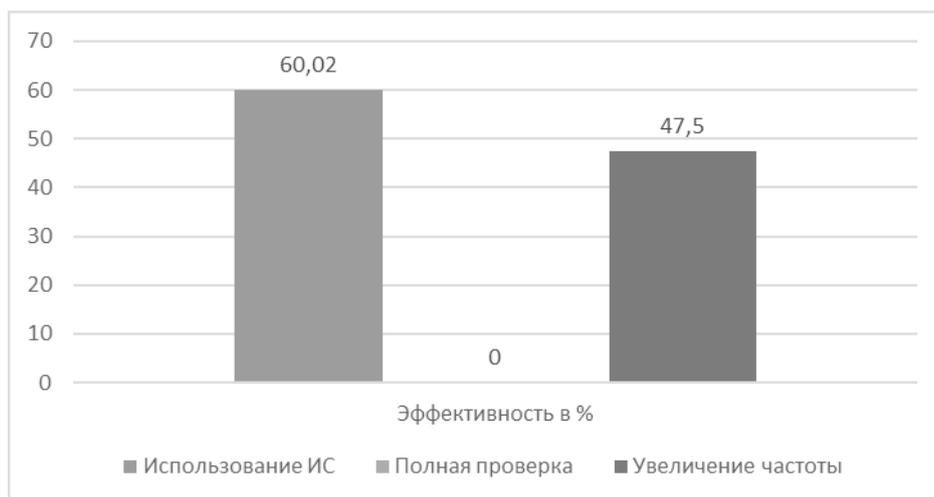


Рис. 5. Сравнительная диаграмма эффективности согласно критерию (9)

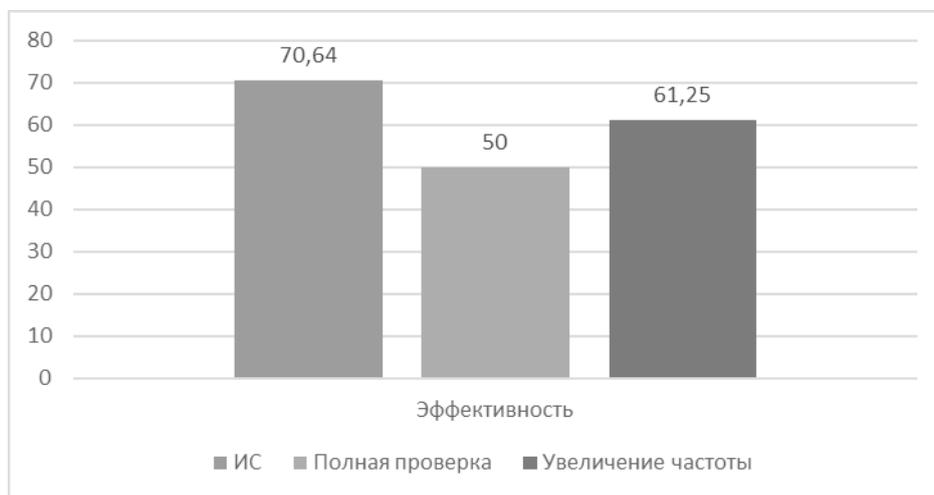


Рис. 6. Сравнительная диаграмма эффективности согласно критерию (7)

приборов учёта на данных из таблицы 6 и таблицы 7 равна 100% при идентификации достоверных данных, 50% при идентификации недостоверных данных. Средняя эффективность идентификации данных равна 75%.

На рис 4 приведена сравнительная диаграмма эффективности информационной системой и двух других методов согласно критерию (8).

Согласно критерию (9), оценки эффективности решения задачи минимизации затрат времени была произведена сравнительная оценка информационной системы с методами М1 и М2. Для проведения оценки были взяты выборки приборов учёта электроэнергии размером от десяти до ста единиц с известным числом приборов учёта, передающих недостоверные данные. За единицу времени была принята величина равная

средней продолжительности проверки одного прибора учёта. Результаты проведённых испытаний представлены в таблицах 10–12.

Информационная система выделяет среди множества всех исследуемых приборов учёта подмножество тех, которые в соответствии с используемой ею методикой отмечаются как передающие недостоверную информацию. Поэтому человеку эксперту необходимо проверить только отмеченные информационной системой приборы учёта. С учётом того что информационная система в среднем обнаруживает 87,5% приборов учёта, передающих недостоверные данные, это, для достаточно крупных выборок, даёт эффективность в границах от 55% до 62%, что отражено в таблице 10. Средняя же эффективность информационной системы равна 60,02%.

При использовании метода «полная проверка всех приборов учёта» [1] число приборов учёта, которые необходимо проверить человеку эксперту равно числу приборов учёта в выборке, что при любых выборках, несмотря на нахождение 100% приборов учёта, передающих недостоверные данные, даёт эффективность равную 0%, что отражено в таблице 11.

При использовании метода «увеличение частоты опроса приборов учёта» [1], эксперт человек, как

и в случае с использованием ИС должен проверить только отмеченные приборы учёта. Общая эффективность для большинства выборок находится в границах от 45% до 47,5%. Средняя же эффективность метода «увеличение частоты опроса приборов учёта» [1] согласно критерию (8) равна 46,87%.

После проведения сравнительной оценки эффективности созданной информационной системы и используемых в настоящее время в АСКУЭ методов контроля достоверности данных приборов учёта электроэнергии по критериям (8) и (9) была проведена их оценка эффективности согласно составного критерия (7). Результаты данной оценки приведены в таблице 13 и на рис. 6.

Как видно из таб. 13 и рис. 6 информационная система, использующая для контроля достоверности данных прогнозирующую нейросетевую модель электропотребления [10], имеет высокую эффективность при идентификации приборов учёта электроэнергии и эффективность выше среднего в плане минимизации затрат времени без потери качества поиска приборов учёта, передающих недостоверные данные. Её общая эффективность согласно критерию (7) равна 70,64% и превосходит по данному показателю два других метода, которые используются в настоящее время в АСКУЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тымчук А.И. К вопросу контроля достоверности показаний приборов учёта в автоматизированных системах коммерческого учёта // Наука и бизнес: пути развития. — 2018. — № 12(90). — С. 57–60.
2. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации «Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учёта электроэнергии» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов — [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141436>. (дата обращения 02.11.2022).
3. Алшимбеков А. Разработка проекта автоматизированной системы контроля и учета параметров электроснабжения поселка «Озерный» // Современные научные исследования и разработки. — 2018. — № 11(28) — С. 75–81.
4. Box, G.E.P.; Jenkins, G.M.; Reinsel, G.C. Time Series Analysis, Forecasting and Control (4th ed.) // Hoboken, NJ: Wiley. (2008) ISBN9780470272848
5. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика // М.: Физматлит, 2006.
6. Таблица критических значений t-критерия Стьюдента: [Электронный ресурс] // Statpsy.ru. URL: <https://statpsy.ru/t-student/t-test-tablica/> (дата обращения 10.11.2022).
7. Вакуленко Е.С. Анализ одномерных временных рядов: [Электронный ресурс] // URL: <https://pokrovka11.files.wordpress.com/2014/01/time-series-analysis-part1.pdf>. (дата обращения 02.11.2022).
8. Dickey D.A. and Fuller W.A. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root // Journal of the American Statistical Association. — 74. — 1979.
9. Золоторёв А.А. Эконометрика // Электронное учебное пособие Института электронного обучения Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики. 2009 г. — [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/63858>. (дата обращения 02.11.2022).
10. Атрощенко В.А., Тымчук А.И. Построение прогнозирующей модели потребления АСКУЭ с использованием нейросетевых технологий. // IX Международный конгресс «Энергосбережение и энергоэффективность. IT-технологии. Энергобезопасность. Экология».

© Тымчук Алексей Игоревич (aleximchuck@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ ОСТРЫХ ГНОЙНЫХ ЛИМФАДЕНИТОВ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ И ШЕИ У ДЕТЕЙ НА ФОНЕ ИНФЕКЦИИ ВИРУСА ЭПШТЕЙНА-БАРР, ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОНКОМАРКЕРА LMP-1

FEATURES OF ACUTE PURULENT LYMPHADENITIS OF THE MAXILLOFACIAL REGION AND NECK IN CHILDREN AGAINST THE BACKGROUND OF INFECTION WITH THE EPSTEIN-BARR VIRUS, THE DIAGNOSTIC ROLE OF THE ONCOMARKER LMP-1

**M. Agarova
D. Kharitonov
A. Filin
T. Samoilenko**

Summary. The aim of the study. To assess and describe the clinical and laboratory characteristics, morphological features of acute purulent lymphadenitis of the maxillofacial region and neck against the background of Epstein-Barr virus infection in children.

Material and Methods. We analyzed 30 cases of acute purulent lymphadenitis of the maxillofacial region and neck in children from 3 to 7 years old against the background of Epstein-Barr virus infection, which was confirmed by laboratory. 9 people were diagnosed with an acute Epstein-Barr virus infection, 21 people had an exacerbation of a chronic infection. All patients underwent a comprehensive examination, including measurement of body temperature, general and biochemical blood tests, immunogram, ultrasound examination of the abdominal cavity. Bacteriological seeding, morphological examination and immunohistochemistry for latent membrane protein-1 were performed on the surgical material.

Result. The ratio of boys to girls was 3:1. The dominant localization of inflammation of the lymph node was the upper lateral part of the neck (n=20). In 24 cases, lymphadenitis was preceded by a viral infection clinic, among them one child with infectious mononucleosis. Body temperature during treatment was mostly subfebrile (n=18). According to the general blood test during hospitalization, the following were detected: leukocytosis (n=23), increased ESR (n=23), anemia (n=8), thrombocytosis (n=16). According to the biochemical study of blood, an increase in the level of SGOT (n=13), SGPT (n=5) was established. Ultrasound examination of the abdominal cavity revealed hepatomegaly (n=5), splenomegaly (n=3), mesadenitis (n=1), diffuse liver changes (n=1). According to the results of bacteriological

Агапова Маргарита Александровна

Челюстно-лицевой хирург Клиники семейной
медицины, заочный аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный медицинский университет им.
Н.Н. Бурденко» Минздрава России, г. Воронеж
tagarova03@yandex.ru

Харитонов Дмитрий Юрьевич

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный медицинский университет им.
Н.Н. Бурденко» Минздрава России, г. Воронеж
duhdoct@mail.ru

Филин Андрей Анатольевич

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный медицинский университет им.
Н.Н. Бурденко» Минздрава России, г. Воронеж
filinan@yandex.ru

Самойленко Татьяна Валерьевна

К.б.н., ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»
Минздрава России, г. Воронеж
antailkka@mail.ru

Аннотация. Цель исследования. Оценить и описать клинико-лабораторные характеристики, морфологические особенности острых гнойных лимфаденитов челюстно-лицевой области и шеи на фоне инфекции вируса Эпштейна-Барр у детей.

Материал и методы. Проанализировано 30 случаев острого гнойного лимфаденита челюстно-лицевой области и шеи у детей с 3 до 7 лет на фоне инфекции вируса Эпштейна-Барр, которая подтверждена лабораторно. У 9 человек диагностирована острая инфекция вируса Эпштейна-Барр, у 21 человека обострение хронической инфекции. Всем пациентам проведено комплексное обследование, включающее измерение температуры тела, общий и биохимический анализы крови, иммунограмму, ультразвуковое исследование брюшной полости. На операционном материале выполнены бактериологический посев, морфологическое исследование и иммуногистохимия на латентный мембранный протеин-1.

Результаты. Соотношение мальчиков к девочкам было 3:1. Доминирующей локализацией воспаления лимфоузла являлся верхнебоковой отдел шеи (n=20). В 24 случаях лимфадениту предшествовала клиника вирусной инфекции, среди них один ребенок с инфекционным мононуклеозом. Температура тела при обращении в основном была субфебрильной (n=18). По общему анализу крови при госпитализации были выявлены: лейкоцитоз (n=23), повышение СОЭ (n=23), анемия (n=8), тромбоцитоз

seeding from the surgical wound, half of the sampling did not give seeding, in other cases gram-positive cocci were isolated. Histological examination revealed the following morphological features: follicular (n=21), parafollicular (n=7) and paracortical (n=7) hyperplasia; sinus histiocytosis (n=5), plethoric vessels with severe endothelial edema (n=15), hemorrhages (n=8), necrosis (n=8). An immunohistochemical study of the oncomarker LMP-1 was performed in 30 lymph nodes obtained during surgery. The virus was identified in lymphocytes localized perifollicularly in 18 cases (60%).

Conclusion. Taking into account the data obtained, the examination, treatment tactics and dispensary observation of patients should be carried out in the context of oncological alertness.

Keywords: lymphadenitis in children, lymphadenitis on the background of EBV, LMP-1, tumor marker for lymphadenitis.

(n=16). У четверых детей был нормальный анализ крови по всем показателям. По биохимическому исследованию крови было установлено повышение уровня АсАт (n=13), АлАт (n=5). По ультразвуковому исследованию внутренних органов диагностированы гепатомегалия (n=5), спленомегалия (n=3), мезоденит (n=1), диффузные изменения печени (n=1). По результатам бактериологического посева из операционной раны половина забора не дала высево, в остальных случаях выделены грамположительные кокки. При гистологическом исследовании определены следующие морфологические признаки: фолликулярная (n=21), парафолликулярная (n=7) и паракортикальная (n=7) гиперплазия; синусный гистиоцитоз (n=5), полнокровные сосуды с выраженным отеком эндотелия (n=15), кровоизлияния (n=8), некроз (n=8). Выполнено иммуногистохимическое исследование онкомаркера LMP-1 30 лимфоузлов, полученных во время операции. Вирус идентифицировался в лимфоцитах локализованных перифолликулярно в 18 случаях (60%).

Заключение. С учетом полученных данных обследование, тактику лечения и диспансерного наблюдения пациентов необходимо проводить в контексте онкологической настороженности.

Ключевые слова: лимфаденит у детей, лимфаденит на фоне ВЭБ, латентный мембранный протеин-1, онкомаркер при лимфаденитах.

Введение

Число пациентов с воспалением периферических лимфатических узлов лица и шеи составляет значительную долю среди стационарных хирургических больных (15–20%) [1]. Большинство острых лимфаденитов челюстно-лицевой области и шеи у детей неodontогенные [2]. Главной этиологией является инфекционный процесс, вызванный семейством герпес вирусов, в подавляющем большинстве непосредственно вирусом Эпштейна-Барр (ВЭБ) [3,4].

Данный возбудитель является онковирусом и может способствовать развитию различных видов злокачественных новообразований, таких как лимфома Беркитта, Ходжкина [5].

Одним из онкогенных белков ВЭБ, приводящих к трансформации опухолевых клеток, является латентный мембранный протеин-1 (LMP-1) [6].

Первичная инфекция ВЭБ происходит в ротоглотке, и В-клетки инфицируются в этой области. При выполнении иммуногистохимии на LMP-1 выявляется окраска антигена в клетках миндалин и крови [7]. Однако, инфицированные ВЭБ В-клетки могут быть обнаружены вне кровяного русла и ротоглоточной области. Так, например, LMP-1 выявлен в аппендиксе и околоободочных лимфатических узлах. [8].

Дети с острыми лимфаденитами обслуживаются врачами разного профиля: педиатрами, инфекционистами, онкогематологами, оториноларингологами, детскими хирургами, челюстно-лицевыми хирургами [9]. Поскольку гемобластозы занимают первое место по распространенности злокачественных новообразований у детей [10], медицинские работники, осуществляющие лечение вышеупомянутой патологии, должны тщательно проводить дифференциальный диагноз и придерживаться принципов онкологической настороженности.

Цель

Целью данного исследования было оценить и описать клинико-лабораторные характеристики детей с острыми гнойными лимфаденитами челюстно-лицевой области и шеи на фоне инфекции вируса Эпштейна-Барр.

Материал и методы исследования

Мы проанализировали 30 историй болезней детей с 3 до 7 лет, находящихся на стационарном лечении в отделении челюстно-лицевой хирургии Областной Детской Клинической Больницы № 2 г. Воронежа в период с 2017 по 2019 годы с клиническим диагнозом L04.0 острого гнойного лимфаденита на фоне инфекции вируса Эпштейна Барр. Данный возбудитель подтвержден лабораторно методами ПЦР и ИФА. Оценива-

Лейкоциты	Поступление	Выписка		СОЭ	Поступление	Выписка
Норма	7	27		Норма	7	17
До $15 \times 10^9/\text{л}$	13	3		До 20 мм/ч	7	9
Выше $15 \times 10^9/\text{л}$	10	0		Выше 20 мм/ч	16	4

Рис. 1. Показатели общего анализа крови.

ли пол, возраст, количество койко-дней, локализацию лимфаденита, его этиологию, срок заболевания, температуру на момент обращения, общий анализ крови, биохимию, иммунограмму, УЗИ внутренних органов, результаты посева из операционной раны, стандартное морфологическое исследование препаратов, окрашенных обзорной окраской гематоксилин-эозином. Так же, на удаленных лимфатических узлах провели иммуногистохимию на латентный мембранный протеин-1. Для приготовления срезов использовались те же парафиновые блоки, что и для гистологического исследования. Иммуногистохимический метод применялся с использованием стандартных протоколов, использовались моноклональные мышинные антитела LMP Clones CS1–4. Полученный материал фотографировался. Проводилась оценка количества EBV позитивных клеток в поле зрения.

Результаты исследования и их обсуждения

Взятые в исследование пациенты выписаны из отделения челюстно-лицевой хирургии, трое первично были госпитализированы в инфекционное отделение, один в реанимационное. Среднее количество койко-дней составило 14. Из 30 детей мальчиков было 21, девочек 9. Максимальное количество случаев встречалось в возрасте 5 лет у 8 человек.

Всем детям было проведено исследование на герпетические вирусы методами ИФА и ПЦР. У 9 человек диагностирована острая инфекция вируса Эпштейна-Барр, у 21 человека обострение хронической инфекции ВЭБ. У одного ребенка авидность IgG была 45%, у остальных 20 авидность была высокой степени, от 58 до 100%. У четырех детей выявлена микст инфекция. Обострение хронической инфекции вируса Эпштейна-Барр сочеталось у одного ребенка с обострением хронической инфекцией вируса герпеса VI типа, у троих с острой цитомегаловирусной инфекцией.

Преобладающей локализацией лимфаденита был верхнебоковой отдел шеи ($n=20$), на втором месте — поднижнечелюстная область (в три раза меньше, $n=7$), единичные случаи околоушно-жевательной ($n=3$) и под подбородной ($n=1$) областей. У одного ребенка расплавленные лимфоузлы были сразу в двух анатомических областях — на шее и в околоушно-жевательной области с одной стороны. Еще у одного ребенка был двусторонний шейный лимфаденит: с одной стороны проведено оперативное лечение, с другой консервативное.

В 24 случаях воспалению лимфоузлов предшествовала вирусная инфекция, среди них один ребенок с инфекционным мононуклеозом. У 4х детей заболевание возникло на фоне здоровья, единичные эпизоды после перенесенного отита, переохлаждения. У шестерых детей после госпитализации отмечались катаральные явления в виде ринита, фарингита, которых не было при поступлении.

Основная масса пациентов (67%) обратились за медицинской помощью в стационар в течение первых трех дней от появления увеличенного лимфатического узла. 80% госпитализированных детей были прооперированы в течение первых суток, после обращения. Трое детей были оперированы дважды, им была проведена ревизия раны с 10 по 13 сутки.

Температура при обращении была нормальной у 5 человек, субфебрильной у 18, фебрильной у 7. Температура тела выше 39 градусов не была зарегистрирована ни в одном случае. Температурный график в течение стационарного периода у детей отличался друг от друга. У 12 детей температура нормализовалась в течение 2х дней после вскрытия гнойного очага и была нормальной до выписки. У 18 детей после операции и нормализации температуры отмечалась субфебрильная (у троих фебрильная) лихорадка с 5 по 9 сутки.

Общий анализ крови на момент поступления представлен на рис. 1.

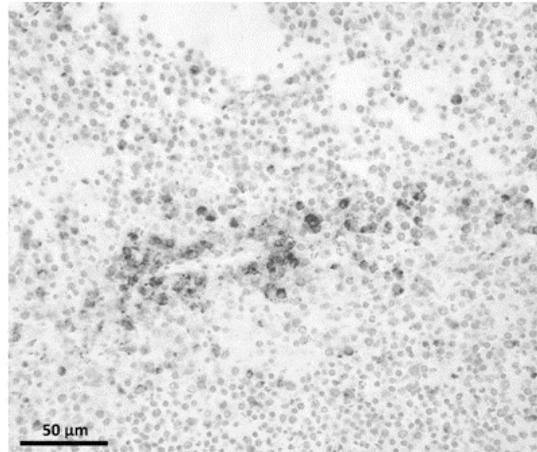


Рис. 2. Группа лимфоцитов с положительной экспрессией с антителами к EBV. Иммуногистохимия, гематоксилин.

Уровень лейкоцитов на момент обращения достаточно разнообразен у данного контингента пациентов. При выписке повышенный уровень лейкоцитов оставался только у 3х пациентов, в среднем был $12,5 \times 10^9/\text{л}$. У ребенка с инфекционным мононуклеозом были повышены моноциты 12%, у одного ребенка описаны в анализе лимфоциты с плазматической цитоплазмой 5%.

У половины пациентов при поступлении отмечался уровень СОЭ выше 20 мм/ч, при выписке повышенная скорость оседания эритроцитов сохранялась у 13 человек, в среднем 19,6 мм/ч.

Первая степень анемии была зафиксирована у 8 человек, при выписке сохранялась только у трех, причем уровень гемоглобина был ниже, чем при поступлении. Тромбоцитоз выявлен у 16 человек, к выписке держался у 11.

Четверо детей имели абсолютно нормальный общий анализ крови по всем показателям на фоне гнойного процесса.

По биохимическому исследованию крови было установлено повышение уровня АсАт у 13 человек, АлАт у 5 человек, АлАт повышался вместе с АсАт. В единичных случаях повышались тимоловая проба (n=2), амилаза (n=2), СРБ (n=2).

По проведенной иммунограмме повышение уровня IgA зарегистрировано у 5 детей, снижение у одного. Повышение уровня IgM обнаружено у 3, снижение у 5. Изменений по IgG не было ни у одного пациента.

По проведенному УЗ исследованию внутренних органов диагностированы гепатомегалия (n=5), сплено-

мегалия (n=3), мезоденит (n=1), диффузные изменения печени (n=1).

По результатам бактериологического посева половина забора не дала высевок. У четверых выделен *Str. β-haemolyticus*, у троих *Staph. aureus*, у двоих *Staph. haemolyticus*. В единичных случаях определяются *Staph. epidermidis*, *Staph. saprophyticus*, *Staph. cohnii*, *Str. viridans*, *Str. pyogenes*.

При гистологическом исследовании операционного материала был выявлен ряд изменений. Фолликулярная гиперплазия наблюдалась в 21 случаях (70%), из них в 7 (23%) сочеталась с парафолликулярной гиперплазией. Паракортикальная гиперплазия описана у 7 человек (23%), из них в 5 случаях (17%) сочеталась с фолликулярной гиперплазией. Большинство проанализированных случаев имели смешенноклеточную инфильтрацию (57%), лейкоцитная инфильтрация была у шестерых (20%), лимфоцитарная инфильтрация без лейкоцитарной примеси была у 7 (23%). Морфологические признаки синусного гистиоцитоза удалось обнаружить в 5 случаях (17%), при этом клеточный состав их был представлен преимущественно гистиоцитами.

Вторым по встречаемости морфологическим признаком, обнаруживаемым в исследованных лимфатических узлах, были полнокровные сосуды с выраженным отеком эндотелия, в 15 случаях из 30 (50%). Кровоизлияния описаны в 8 случаях (27%), из них в двух образцах они были крупноочаговые.

В восьми из исследованных случаев (27%) наблюдались картины некроза, в двух препаратах участки абсцедирования. Гистологическая картина лимфоузла пациента, перенесшего инфекционный мононуклеоз, не отличалась

от морфологических признаков других изучаемых лимфоузлов. У одного пациента описана лимфоидная ткань в виде полей клеток с иммунобластной морфологией.

Иммуногистохимически в 18 случаях (60%) была определена положительная экспрессия к EBV-антигенам рис. 2, вирус идентифицировался в лимфоцитах локализованных перифолликулярно.

Экспрессия была выражена неравномерно, встречались как единичные клетки с экспрессией, так и группы клеток — небольшие очаги. Выраженная экспрессия EBV наблюдалась в четырех случаях, когда большое количество иммунных клеток были EBV положительными. Еще в одном случае экспрессия наблюдалась на мембранах воспалительных клеток в синусоидах.

Заключение

В свете современных исследований, врачи, занимающиеся лечением лимфаденитов, должны иметь представление не только о классических бактериальных гнойных лимфаденитах, но и о вирусно-бактериальных, ВЭБ ассоциированных.

У 60% детей с острыми гнойными лимфаденитами, вызванными вирусом Эпштейна-Барр определяется экспрессия онкогенного белка LMP-1 на поверхности перифолликулярно расположенных лимфоцитов. Все дети с острыми лимфаденитами должны быть обследованы на ВЭБ. Тактику лечения и диспансерного наблюдения необходимо проводить с учетом онкологической настороженности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапова М.А., Харитонов Д.Ю., Корытина И.В., Подопригора А.В. Ретроспективный анализ острых лимфаденитов челюстно-лицевой области и шеи у детей. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2021; Т. 15; № 4; 134–139. [Agarova MA, Charitonov DY, Korytina IV, Podoprigora AV. Retrospective analysis of acute lymphadenitis of the maxillofacial region and neck in children. Sistemnii analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemah. 2021; T. 15; № 4; 134–139. (In Russ.).] <https://doi.org/10.36622/vstu.2021.20.4.020>
2. Железный П.А., М.В. Колыбелкин М.В., Изюмов О.А. [и др.] Характеристика одонтогенных и неодонтогенных воспалительных процессов челюстно-лицевой области в детском возрасте. Институт стоматологии. 2018; 2(79); 63–65. [Zelazny MV, Kolybelkin MV, Izyumov AO and others. Characterization and neoantigenic odontogenic inflammatory processes of maxillofacial area in children. Institut stomatologii 2018; 2(79); 63–65. (In Russ.).] EDN XURVQL
3. Дерюшева, А.В. Об этиологии лимфаденопатии у детей. Фундаментальная наука в современной медицине 2020: Материалы сателлитной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Минск, 14 апреля 2020 года. 2020; 55–58. [Deryusheva AV. Ob etiologii limfadenopatii u detei. Fundamentalnaya nauka v sovremennoi medicine 2020_ Materiali catellitnoi nauchno_ prakticheskoi konferencii studentov i molodih uchenih Minsk 14 aprelya 2020 goda. 2020; 55–58. (In Russ.).] EDN FOBRBL
4. Котлова В.Б., Кокорева С.П. Клинико-лабораторные особенности хронической Эпштейна-Барр вирусной инфекции у детей. Прикладные информационные аспекты медицины. 2017; Т. 20; № 3; 133–136. [Kotlova VB, Kokoreva SP. Kliniko_ laboratornie osobennosti hronicheskoi Epshteina_ Barr virusnoi infekcii u detei. Prikladnie informacionnie aspekti medicine. 2017; T. 20; № 3; 133–136. (In Russ.).] EDN ZCQDYT.
5. Rickinson AV. Co-infections, inflammation and oncogenesis: future directions for EBV research. Semin Cancer Biol. 2014 Jun; 26:99–115. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2014.04.004>
6. Дидук, С.В, Смирнова К.В. Возможный механизм регуляции функциональной активности онкогена LMP1 вируса Эпштейна-Барр. Российский биотерапевтический журнал. 2012; Т. 11; № 2; 17. [Diduk SV, Smirnova KV. Vozmojnii mehanizm regulyacii funkcionalnoi aktivnosti onkogeno LMP1 virusa Epshteina_ Barr. Rossiiskii bioterapevticheskii jurnal. 2012; T. 11; № 2; 17. (In Russ.).] EDN PXJVXD.
7. Шарипова, Е.В. Клинико-лабораторная характеристика и возрастные особенности инфекционного мононуклеоза у детей: специальность 14.01.09 «Инфекционные болезни», 14.03.02 «Патологическая анатомия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Шарипова Елена Витальевна. — Санкт-Петербург, 2012. — 26 с. — EDN QHZVTL.
8. Delecluse S, Tsai MH, Shumilov A, et al. Epstein-Barr Virus Induces Expression of the LPAM-1 Integrin in B Cells In Vitro and In Vivo. J Virol. 2019; 93(5): e01618–18. Published 2019 Feb 19. doi:10.1128/JVI.01618–18
9. Национальные клинические рекомендации по диагностике лимфаденопатий, 2018. — URL: https://npngo.ru/uploads/media_document/281/1f167737-5f09-47d7-a25b-c43b0cfe916e.pdf
10. О.Г. Желудкова, В.Г. Поляков, М.Ю. Рыков, Н.А. Сусулева, И.А. Турабов Клинические проявления онкологических заболеваний у детей: практические рекомендации / под ред. В.Г. Полякова, М.Ю. Рыкова — СПб.: Типография Михаила Фурсова, 2017. — 52с.

© Самойленко Татьяна Валерьевна (antailkka@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КОМПЛЕКСНОЕ ЛЕЧЕНИЕ РАНЕВОЙ ИНФЕКЦИИ ПРИ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ РАНЕНИЯХ И ЕЕ ОБЪЕКТИВНЫЕ КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

COMPREHENSIVE TREATMENT OF WOUND INFECTION IN GUNSHOT WOUNDS AND ITS OBJECTIVE CRITERIA FOR EFFECTIVENESS

**A. Ataev
E. Ataev
L. Ataeva
R. Kallaev
A. Magaramov
N. Mirzoev**

Summary. The analysis of complex treatment of 48 patients with infectious complications of gunshot wounds of the extremities was carried out. In 30 patients — using the method of treatment developed by the authors (RF patent No. 2281126). For an objective assessment of the applied treatment method, the following criteria were used: clinical and biochemical blood tests, microbiological, cytological and immunological studies. Studies of the functional activity of the B-system of lymphocytes showed that patients with wound infection have a significant decrease in class M and G immunoglobulins. The combination of hyperbaric oxygenation with ultraviolet blood irradiation has a pronounced bactericidal and detoxifying effect, and also accelerates the recovery of the body's detoxification function, creating optimal conditions for wound healing. The proposed method of treatment improves the results of treatment and reduces possible complications.

Keywords: gunshot wounds, infectious complications, hyperbaric oxygenation, ultraviolet blood irradiation.

Атаев Алевдин Рашитханович

*Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Дагестанский
государственный медицинский университет» МЗ РФ
(Махачкала)
drataev57@mail.ru*

Атаев Эльдар Алевдинович

*Кандидат медицинских наук, ФГБОУ ВО «Российский
национальный исследовательский медицинский
университет им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ (Москва)
elddar833@yandex.ru*

Атаева Лейла Алевдиновна

*Клинический ординатор РНИМУ им. Н.И. Пирогова
Каллаев Нажмудин Омаркадиевич
Д.м.н., ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ (Махачкала)
nazhmudin_K@mail.ru*

Магарамов Абдулла Магарамович

*Ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский
государственный медицинский университет» МЗ РФ
(Махачкала)
abdulla-magaramov@yandex.ru*

Мирзоев Назим Эмирович

*К.м.н., ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
медицинский университет» МЗ РФ (Махачкала)*

Аннотация. Нами проведен анализ комплексного лечения 48 больных с инфекционными осложнениями огнестрельных ранений конечностей. У 30 больных лием разработанными способ лечения (патент РФ № 2281126). Для объективной оценки применяемого метода лечения использовали следующие критерии: клинический и биохимический анализы крови, микробиологические, цитологические и иммунологические исследования. Исследования функциональной активности В-системы лимфоцитов показали, что у больных с раневой инфекцией отмечается достоверное снижение иммуноглобулинов классов М и G. Сочетание гипербарической оксигенации с УФО крови оказывает выраженное бактерицидное и дезинтоксикационное действие, а также ускоряет дезинтоксикационную функцию организма, создает оптимальные условия для заживления ран. Предлагаемый способ лечения улучшает результаты лечения и уменьшает возможные осложнения.

Ключевые слова: огнестрельные ранения, инфекционные осложнения, гипербарическая оксигенация, ультрафиолетовое облучение крови.

При огнестрельном ранении в организме происходят сложные патоморфологические процессы, которые приводят к первичной полиорганной недостаточности [1]. При прогрессировании раневого процесса формируется синдром полиорганной недостаточности вторичного характера, возникающий под воздействием микробной инвазии и эндогенной интоксикации [2,3]. На фоне таких значительных патологических изменений в организме раненого встает нелегкая задача лечения инфекционных осложнений огнестрельной раны [4,5]. Эта задача должна решаться только комплексным путем непосредственного воздействия на рану, подавления микрофлоры и коррекции нарушений гомеостаза [6,7].

Под наблюдением находилось 48 больных с различными формами инфекционных осложнений огнестрельных ранений. Возраст колебался от 18 до 60 лет, а сроки ранения от 6 до 28 дней.

По характеру ранящего снаряда пострадавшие распределились следующим образом: одиночные и множественные пулевые ранения имелись у 26 человек, осколочные ранения и минно-взрывная травма — у 22 раненых. Множественные и сочетанные повреждения отмечены у 19 человек и ранения одного из сегментов — у 29.

Инфекционные осложнения носили следующий характер: гнойно-резорбтивная лихорадка отмечена у 17 больных, септицемия — у 10 больных и у 21 — местные изменения в виде локального гнойно-некротического процесса. Раневой остеомиелит диагностировали у 21 больного.

Гнойно-резорбтивная лихорадка отмечена у 35,4% больных, которая характеризовалась четко определяемыми гнойными очагами, волнообразным течением процесса, интермиттирующим типом лихорадки. Она наблюдалась не менее 7 дней после вскрытия гнойного очага при сохраняющемся параллелизме и выраженности функциональных нарушений. Посевы крови у этих больных были стерильны.

Септицемия отмечена у 20,8% больных, которая характеризовалась общим тяжелым состоянием больного, высокой температурой, нарушением деятельности различных функциональных систем. Полиорганная недостаточность у них прогрессировала несмотря на активное воздействие на очаг.

Местные гнойно-некротические изменения отмечены у 43,8%, они в свою очередь подразделялись следующим образом: гнилостная инфекция отмечена у 10 больных и псевдосептическое течение со скрытым

периодом развития инфекционного раневого осложнения — у 11 больных.

Причиной развития инфекционных осложнений огнестрельных ранений конечностей были ошибки допущенные на предшествующих этапах лечения. У 15 (31,3%) раненых отмечена недостаточно радикальная первичная хирургическая обработка раны; у 14 (29,2%) обработка раны не производилась, ограничились рассечением кожи; первичные швы были наложены 9 (18,7%) раненым на сегменты с большим мышечным массивом и у 10 (20,8%) раненых отмечена неадекватные и недостаточно радикальные неоднократные оперативные вмешательства по поводу развившихся осложнений.

Основную группу составили 30 больных в лечении которых мы применили комплексный подход, заключающийся в следующем: адекватная терапия синдрома вторичной полиорганной недостаточности и коррекции гомеостаза; ранняя вторичная хирургическая обработка; воздействие на микрофлору (рациональная антибиотикотерапия и другая антимикробная химиотерапия); иммобилизация конечности; повторные оперативные вмешательства и реабилитационные мероприятия.

При септическом процессе, в зависимости от тяжести состояния, приходится прибегать к паллиативным операциям: широкому вскрытию основного или метастатического очага и адекватного дренирования, в дальнейшем производились этапные некрэктомии.

Инфекционные осложнения огнестрельных ран сопровождались выраженным нарушением водного и солевого баланса, белкового обмена, кислотно-щелочного равновесия. Больные находились в состоянии обезвоживания, анемии, гипопроотеинемии. Инфузионная терапия осуществлялась с целью восполнения объема циркулирующей крови, ликвидации обезвоживания, дезинтоксикации, регулирования электролитного равновесия, восполнения белкового состава, обогащения витаминами, восстановления микроциркуляции в тканях и для парентерального питания.

До определения вида микрофлоры и ее чувствительности к антибиотикам, применяли антибиотики широкого спектра действия, которые вводили парентерально. Учитывая, что при огнестрельных ранениях имеет место присутствие анаэробной микрофлоры, а антибактериальная терапия анаэробной инфекции не всегда оказывается успешной, применяли производные метронидазола. Метронидазол вводили внутривенно 3–4 раза в сутки, в зависимости от тяжести состояния.

Таблица 1. Изменение в динамике показателей иммунного статуса при применении гипербарической оксигенации.

Показатели	Доноры	Больные	
		До ГБО	После курса ГБО
Т-лимфоциты в%	62,5±5,6	30,3±4,5	49,6±5,8 P<0,05
Абс.число кл/мкл	1153±112	840±49	985±37 P<0,05
Актив. в%	20,0±3,4	2,1±0,5	3,3±1,5
Абс.число в кл/мкл	206±13,3	16,8±3,4	30,3±4,7 P<0,05
В-лимфоциты в%	18,4±1,2	13,3±2,4	14,4±2,2
Абс. число в кл/мкл	395±18,2	305±29,3	375±15,4
Иммуноглобулин G	12,49±0,26	4,37±0,19	8,18±0,43 P<0,05
Иммуноглобулин M	1,32±0,05	0,77±0,13	0,89±0,06

Для иммобилизации использовали внеочаговый остеосинтез аппаратами внешней фиксации. Наиболее часто применяли фиксацию аппаратом Илизарова из двух колец, что облегчало проведение манипуляций и перевязок, по стиханию воспалительного процесса проводилась докомпановка аппарата.

У 12 больных с сепсисом мы применили в комплексном лечении гипербарическую оксигенацию и у 18 — гипербарическую оксигенацию и ультрафиолетовое облучение крови.

Контрольную группу составили 18 пациентов, которые имели следующие осложнения огнестрельных ранений: гнойно-резорбтивная лихорадка у 7 больных, септицемия — у 3 и местные изменения (локальные гнойно-некротические процессы) — у 8 больных. Им также проводилось комплексное лечение, но без ГБО и УФ-облучения крови.

Для гипербарической оксигенации использовалась отечественная установка «ОКА МТ». При наличии сепсиса и подозрения на анаэробную инфекцию использовали высокое давление 2,0–2,5 атм — по 8–10 сеансов. У больных с обширными гнойными ранами, но без клинических проявлений сепсиса, — более низкое давление 1,3–1,5 атм в течение 40–60 минут 6–7 сеансов через день.

УФО крови применялся пациентам с помощью аппарата МД-73М «Изольда» отечественного производства, в котором кровь больного облучается при протекании через плоскую кварцевую кювету. Объем облучаемой крови 1–2 мл на 1 кг массы тела больного, экспозиция облучения 10–15 минут. Доза облучения составляла 0,6–0,9 Дж. Число сеансов определялось тяжестью состояния больного и течением процессов регенерации в ране и колебалось от 5 до 7 с чередованием через день.

Гипербарическая оксигенация в комплексном лечении была применена у 12 больных с инфекционными осложнениями огнестрельных ранений. У 5 больных была диагностирована гнойно-резорбтивная лихорадка, у 2 — септицемия и у 5 — местные гнойно-некротические изменения. Режим ГБО выбирался индивидуально. Наибольшее количество сеансов получили больные с септицемией.

ГБО-терапия оказывала поливалентное действие и влияла практически на все системы жизнеобеспечения больных. После проведения 1–2 сеансов ГБО у 41,7% больных наблюдалось улучшение общего состояния: исчезали вялость и адинамия, вегетативные явления, связанные с интоксикацией. Частота дыхания уменьшалась с 25,8±0,1 в 1 мин до 24,6±0,2 в 1 мин (P<0,05). После 3–4 сеансов она равнялась 23,1±0,1 (P<0,05), а после 6–7 сеансов — 21,3±0,3 (P<0,05). На фоне улучшения показателей внешнего дыхания улучшался и газообмен. Так P_{O_2} после 1 сеанса увеличилось с 77,2±0,31 мм рт ст до 86,2±0,42, после 3–4 сеансов до 91,2±0,23 мм. рт. ст., а после 6–7 сеансов до 94,7±0,31.

В процессе лечения в основной группе отмечали существенные изменения со стороны функций основных детоксикационных систем организма. Это выражалось прежде всего в положительной направленности показателей, отражающих функциональное состояние печени. Общий билирубин снижался с 34,27±2,23 мкмоль/л до 20,21±1,71 мкмоль/л (P<0,01) после курса гипербарической. Общий белок повышался с 54,8±2,3 г/л до 64,1±2,1 г/л (P<0,05). Остаточный азот снижался с 46,7±3,2 мг% до 30,1±4,2 мг% (P<0,01).

Гипербарическая оксигенация существенно влияла на иммунный статус больных. После 6–7 сеансов ГБО-терапии наблюдалась стимуляция Т- и В-систем лимфоцитов, увеличение уровня М и G иммуноглобулинов. Тогда как в контрольной группе сохранялась иммунодепрессия и после заживления ран (таблица 1).

К 5–6 сеансу ГБО-терапии (на 11–12 сутки) грануляции заполняли всю рану, это способствовало более быстрому заживлению ран, наложению вторичных швов или кожной пластике. Сроки заживления ран составили $33,4 \pm 1,3$ против $56,7 \pm 2,9$ в контрольной группе.

В комплексном лечении 18 больных с инфекционными осложнениями огнестрельных ранений применили гипербарическую оксигенацию и ультрафиолетовое облучение крови. У 5 больных была диагностирована гнойно-резорбтивная лихорадка, септикопиемия также — у 5 больных и у 8 — местные гнойно-некротические изменения.

УФ-облучение крови и гипербарическая оксигенация чередовалась, т.е. в день пациент получал один сеанс ГБО или УФО крови. Как правило начинали с УФ-облучения крови, но при подозрении на наличие анаэробной инфекции в первый день проводили сеанс гипербаротерапии.

В день поступления проводили оперативное вмешательство и первый сеанс УФО крови, некоторые больные во время первого сеанса отмечали «покалывание» в области раны, привкус металла во рту, слабое головокружение, все эти явления проходили самостоятельно в течение 5–10 мин после сеанса.

На следующий день проводилась ГБО по принятой методике. После первых сеансов ГБО и УФ-облучения крови выявлен отчетливый лечебный эффект: улучшалось самочувствие больных, уменьшалась интоксикация, снижалась гипертермия. В лейкоцитарной формуле крови отмечали снижение СОЭ, повышение лейкоцитов за счет базофилов и лимфоцитов. Частота дыхания уменьшалась с $26,7 \pm 0,07$ в мин до $23,72 \pm 0,13$ в 1 мин ($P < 0,05$). После 3–4 сеансов она равнялась $22,81 \pm 0,13$ ($P < 0,05$), а после 6–7 сеансов — $20,03 \pm 0,12$ в 1 мин ($P < 0,01$). Отмечали улучшение газообмена, так P_{O_2} после одного сеанса УФО и ГБО увеличилось с $77,3 \pm 0,23$ мм.рт.ст. до $90,5 \pm 0,42$ мм.рт.ст., а после 3–4 сеансов до $97,3 \pm 0,51$ мм.рт.ст. ($P < 0,01$).

Общий билирубин снижался с $38,3 \pm 3,34$ мкмоль/л до $16,07 \pm 1,92$ ($P < 0,01$), тогда как в эти же сроки в группе где проводилась только ГБО она снижалась до $20,21 \pm 1,71$ ($P < 0,05$). Тенденция к снижению содержания билирубина и его компонентов в равной степени была отмечена как у больных без выраженных признаков печеночно-почечной недостаточности, так и у больных с печеночно-почечной недостаточностью. Общий белок повышался с $55,3 \pm 1,3$ г/л до $67,3 \pm 1,7$ г/л ($P < 0,01$). Остаточный азот также снижался с $45,9 \pm 3,7$ до $28,5 \pm 2,8$ ($P < 0,01$).

Эффект включения ГБО и УФ-облучения крови в комплексную терапию больных сепсисом зависит от исходного состояния макроорганизма, однако уже в первые 2–3 сеанса позволяет отметить переход цитогамм дегенеративно-некротического типа к дегенеративно-воспалительному или к первой фазе репаративного периода.

Происходил сдвиг показателей рН-метрии раневого содержимого в сторону ощелачивания. В интервале 3–5 сеансов отмечали появление островков сочных розовых грануляций, которые к концу курса захватывают большую часть раневой поверхности. К этому времени отмечали стабилизацию показателей рН-метрии в ране в пределах 7,3–7,6.

После 5–6 сеансов ГБО и УФО крови раны уменьшались в размерах, становились поверхностными, продолжалось созревание грануляционной ткани, она становилась плотной, мелкозернистой. Это позволяло начать этапное сближение краев раны, наложить вторичные швы или произвести аутодермопластику.

В контрольной группе в эти сроки происходило очищение ран от некротических тканей, продолжал выделяться серозный, серозно-гнойный экссудат. Хотя определялся рост грануляционной ткани, раневой дефект оставался глубоким.

Сроки очищения ран в основной группе составили $5,2 \pm 0,3$ суток, средние сроки появления грануляций $5,9 \pm 0,7$ суток и сроки заживления ран — $27,8 \pm 1,6$.

При комплексном лечении с применением ГБО и УФО крови, на 5 сутки в мазках отпечатках процент измененных нейтрофилов был невысок — $14,1 \pm 1,9$. В отличие от контрольной группы, часто встречались нейтрофилы в состоянии фагоцитоза, незрелые мононуклеарные элементы и макрофаги, а также небольшое количество фибробластов.

На 9 сутки отмечено снижение количества незрелых мононуклеарных элементов и макрофагов, нарастание процента юных и зрелых фибробластов.

На 11–12 сутки, по сравнению с предыдущим сроком, выявлена положительная динамика раневого процесса, характеризующая нарастание элементов фибробластического ряда, его зрелых форм.

Следовательно, при комплексном лечении инфекционных осложнений огнестрельных ранений с применением ГБО и УФ-облучения крови, уже начиная с 3–5 суток, цитологически, отмечается активация репаративного процесса.

Таблица 2. Результаты количественного учета микрофлоры в динамике.

Дни исследования.	Контрольная группа	ГБО	ГБО+УФО
1 сутки	$1,0 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^7$	$8,1 \cdot 10^9$
3 сутки	$1,2 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$
5 сутки	$4,2 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^3$
9 сутки	$6,4 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^2$

Таблица 3. Изменение в динамике показателей иммунного статуса при воздействии гипербарической оксигенации и ультрафиолетового облучения крови.

Показатели	Доноры	Больные	
		До лечения	ГБО+УФО
Т-лимфоциты в %	62,5±5,6	31,4±2,4	56,4±6,9 P<0,01
Абс. число кл/мкл	1153±112	890±42,5	1090±67,5 P< 0,05
Актив. в %	20,0±3,4	3,2±1,1	4,6±2,3
Абс.число в кл/мкл	206±13,3	26,7±7,3	47,4±5,0 P<0,05
В-лимфоциты в %	18,4±1,2	12,3±2,4	15,6±2,8
Абс.число в кл/мкл	395±18,2	310±12,3	380±24,2 P<0,05
Иммуноглобулин G	12,49±0,26	4,56±0,21	9,63±0,17 P<0,01
Иммуноглобулин M	1,32±0,05	0,79±0,11	0,91±0,07

Таблица 4. Результаты лечения больных.

Методы лечения	Сроки очищения ран	Сроки появл. грануляций	Сроки заживления ран
ГБО+УФО крови	5,2±0,3	5,9±0,7	27,8±1,6
ГБО	6,8±0,4	7,6±0,3	33,4±1,3
Традиц. Лечение	12,9±1,4	13,7±0,4	56,7±2,9

(Данные статистически достоверны P<0,05).

Микробиологические исследования включали исследование микрофлоры, ее чувствительности к антибиотикам и количественный учет микроорганизмов.

В подавляющем большинстве случаев был высеян золотистый стафилококк как в монокультуре, так и в ассоциации с другой микрофлорой (51,7%), синегнойная палочка составила 16,2%, *ps. vulgaris* –12,9%, *V. Fragilis* — 9,6% и кишечная палочка — 9,6%. Высеянная аэробная микрофлора была чувствительна к эритромицину, гентамицину, линкомицину, цефазолину, цефатаксиму и нечувствительна к пенициллину, оксациллину, карбенициллину. Анаэробная микрофлора была чувствительна к левомицетину, метронидазолу, цефатаксиму и слабочувствительна к рифампицину и карбенициллину.

До хирургической обработки раны в 1г ткани сохранилось от 10^7 до 10^9 бактерий. В процессе хирургической обработки и воздействия сеансов ГБО и УФО-облучения крови на 5–6 сутки отмечали снижение бактериальной загруженности до 10^3 — 10^5 микроорга-

низмов, с дальнейшим уменьшением до 10^3 (в среднем $3,7 \cdot 10^2 \pm 3,6 \cdot 10$ бактерий), тогда как в контрольной группе эти величины достигались на 17–18 сутки (таблица 2).

Результаты иммунологических исследований

У 10 больных с инфекционными осложнениями огнестрельных ранений конечностей исследовалось розеткообразование с эритроцитами барана (Т-клетки) и с комплексом зимозан-комплимент (В-клетки) до лечения и в процессе применения ГБО и УФО крови. Также исследовалось содержание иммуноглобулинов до и в процессе лечения (таблица 3).

Исследования показали, что в стадии напряжения и катаболических расстройств отмечается значительное снижение процентного и абсолютного содержания Т-лимфоцитов в периферической крови, особенно резко уменьшалось количество «активных» Т-клеток, образующих розетки с 10 и более эритроцитами. Отмечено также снижение и В-лимфоцитов. Исследования функциональ-

ной активности В-системы лимфоцитов показало, что у больных с раневой инфекцией имеет место достоверное снижение иммуноглобулинов класса М и G.

В результате комплексного лечения с применением гипербарической оксигенации и УФ-облучения крови уже через 5–6 сеансов отмечено достоверное повышение Т-и В-лимфоцитов и иммуноглобулина G ($P < 0,05$).

Результаты лечения больных

У 12 больных в комплексном лечении применили гипербарическую оксигенацию. При применении ГБО в комплексном лечении инфекционных осложнений огнестрельных ранений очищение раны отмечали через $6,8 \pm 0,4$ суток, грануляции появлялись через $7,6 \pm 0,3$ и полное заживление раны отмечено через $33,4 \pm 1,3$ суток. В процессе лечения 6 больным на 6–7 сутки начали этапное сближение краев раны методом дозированного растяжения, вторичные швы были наложены 3 больным на 8–9 сутки и 3 больным произвели свободную аутодермопластику расщепленным лоскутом. Осложнений в этой группе не отмечали.

В следующей группе в комплексном лечении у 18 больных применили гипербарическую оксигенацию УФ-облучение крови. В этой группе был более тяжелый контингент больных. Очищение ран от некротических тканей отмечали на $5,2 \pm 0,3$ сут, сроки появления грануляций через $5,9 \pm 0,7$ сут. Полное заживление ран отмечено через $27,8 \pm 1,6$ суток (таблица 4).

Использование в комплексном лечении гипербарической оксигенации и УФ-облучения крови позволило нам на 5–6 сутки начать этапное сближение краев раны методом дозированного растяжения с последующим наложением вторичных швов у 6 больных, вторичные швы были наложены — 5 больным и применена свободная аутодермопластика расщепленным лоскутом. Кроме того, у 4 больных произведена некрсеквестрактомия с внеочаговым чрескостным остеосинтезом.

Необходимо отметить, что в лечении 12 больных и с инфекционными осложнениями огнестрельных ранений конечностей применили для раннего закрытия ран этапное сближение краев раны, предложенного нами метода дозированного растяжения позволяло нам вести динамическое наблюдение за течением раневого процесса и закрывать раневые дефекты сплошным лоскутом.

Выздоровление отмечено во всех группах. В функциональном отношении хорошие и удовлетворительные результаты получены у 25 больного. У 4 больных отмечены различного нарушения функции конечностей, связанные с тяжестью ранения (дефекты диафизов и суставообразующих поверхностей костей), которые требуют длительное реабилитационное лечение. Редкое осложнение в виде двустороннего эндофтальмита (септической этиологии), с потерей зрения на один глаз, отмечено у одного больного.

Выводы

1. Применение гипербарической оксигенации, УФ-облучения крови и внутритканевого электрофореза антиоксидантов в комплексном лечении инфекционных осложнений огнестрельных ранений конечностей является патогенетически обоснованным.
2. Гипербарическая оксигенотерапия на фоне комплексной терапии гнойно-септических осложнений восполняет кислородный дефицит и способствует мобилизации защитных реакций организма, восстанавливает функцию внешнего дыхания, корригирует гемодинамические нарушения, способствует коррекции вторичной иммунной недостаточности.
3. Сочетание с УФ-облучением крови оказывает выраженное бактерицидное и дезинтоксикационное действие и ускоряет восстановление детоксикационной функции организма, создавая оптимальные условия для заживления ран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапошников Ю.Г. Особенности поражающего действия современных боеприпасов и патогенез огнестрельной раны // Огнестрельные ранения военного и мирного времени (характеристика, клиника, диагностика, осложнения): Тез. докл. 22 –го пленума Правления Всесоюз. научн. общества травматологов — ортопедов. — Иркутск, 1991. — С. 3–21.
2. Атаев А.Р. Патогенетические подходы к комплексному лечению гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей и огнестрельных ран конечностей: Автореф. дисс. ... д.м.н. — М., 2002. — 42 с.
3. Воробьев В.В. Патогенез и лечение огнестрельных ран конечностей. Автореф. дисс. ... д.м.н. — СПб., 1995. — 46 с.
4. Атаев А.Р., Атаев Э.А., Каллаев Н.О., Магарамов А.М., Мирзоев Н.Э. Инфекционные осложнения огнестрельных ранений конечностей // Современная наука, Серия Естественные и Технические науки. — № 11. — 2020. — С. 130–132
5. Кесян Г.А., Лазарев А.Ф., Кондратьева И.Е. и др. Патогенетическое лечение огнестрельных ранений конечностей // Вест. травмат. и ортопедии. — 2001. — № 2. — С. 30–33.

6. Толстых М.П., Луцевич О.Е., Ахмедов Б.А., Гейниц А.В., Атаев А.Р. Огнестрельные ранения конечностей мирного времени. — М., 2005. — 80 с.
7. Шальнев А.Н. Лечение огнестрельных и гнойно — осложненных ран с помощью антиоксидантов и углеродных тканевых сорбентов: Автореф. дисс. . . д.м.н. — М., 1996. — 28 с.

© Атаев Алевдин Рашитханович (drataev57@mail.ru), Атаев Эльдар Алевдинович (elddar833@yandex.ru),
Атаева Лейла Алевдиновна, Калаев Нажмудин Омаркадиевич (nazhmudin_K@mail.ru),
Мирзоев Назим Эмирович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Дагестанский государственный медицинский университет

ОБНОВЛЁННЫЕ ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОВЫШЕННОЙ СТИРАЕМОСТИ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ И ЕЁ ОСЛОЖНЕНИЙ У МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ АТЛЕТИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКОЙ

UPDATED ON THE EFFECTIVENESS
OF THERAPEUTIC AND PREVENTIVE
MEASURES IN THE EVENT OF INCREASED
ERASABILITY OF HARD DENTAL TISSUES
AND ITS COMPLICATIONS IN YOUNG
PEOPLE ENGAGED IN ATHLETIC
GYMNASTICS

**V. Buchneva
Yu. Gurevich
O. Oreshaka
M. Shvets**

Summary. The article analyzes the effectiveness of combined treatment, using an occlusive splint, of dental disorders in young people engaged in athletic gymnastics. The results of the study showed that the proposed method, which prevents the progressive auto-destruction of hard dental tissues in young men, improves the condition of periodontal tissues, primarily the gums, as well as the functional parameters of the TMJ and masticatory muscles. All the examined patients were divided into two groups. The observation group included 62 young men who regularly engage in athletic gymnastics, of which 31 people used individual occlusal tires during training (patent No. 188470 of April 15, 2019) and 31 people who continued sports training without tires.

The results of the study showed that the activities of young men in gyms with large weights contribute to the development of a number of dental disorders. The inclusion of an occlusive splint used by young people during sports activities in the complex of therapeutic and preventive measures contributes to the positive dynamics of the state of dental status.

Keywords: increased abrasion of hard tooth tissues; periodontal tissues, occlusive splint, temporomandibular joint.

Бучнева Валерия Олеговна

К.м.н., ФГБОУ ВО Алтайский Государственный
Медицинский Университет МЗ РФ
ortstomagmi@ya.ru

Гуревич Юрий Юрьевич

К.м.н., ФГБОУ ВО Алтайский Государственный
Медицинский Университет МЗ РФ
ortstomagmi@ya.ru

Орешака Олег Васильевич

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский
Государственный Медицинский Университет МЗ РФ
ortstomagmi@ya.ru

Швец Марина Васильевна

К.м.н., ФГБОУ ВО Алтайский Государственный
Медицинский Университет МЗ РФ
ortstomagmi@ya.ru

Аннотация. В статье проанализированы основные показатели, характеризующие состояние стоматологического статуса молодых людей мужского пола, самостоятельно занимающихся атлетической гимнастикой. В ходе исследования установлено, что у большинства обследованных пациентов определяются некариозные поражения твердых тканей зубов в виде их повышенной стираемости, чаще локализованной, и функциональные нарушения со стороны височно-нижнечелюстных суставов и жевательных мышц, а также воспалительные изменения тканей пародонта. Все обследуемые пациенты были разделены на две группы. В группу наблюдения вошло 62 молодых мужчины, регулярно занимающихся атлетической гимнастикой, из которых 31 человек использовали во время тренировок индивидуальные окклюзионные шины (патент № 188470 от 15 апреля 2019 г.) и 31 человек, которые продолжали спортивные тренировки без шин по собственному желанию.

Результаты исследования показали, что занятия молодых мужчин в тренажерных залах с большими весами способствуют развитию у них ряда стоматологических нарушений. Включение в комплекс лечебно-профилактических мероприятий окклюзионной шины, используемой молодыми людьми во время спортивных занятий, способствует положительной динамике состояния стоматологического статуса.

Ключевые слова: повышенная стираемость твердых тканей зубов; ткани пародонта, окклюзионная шина, височно-нижнечелюстной сустав.

Введение

В современной литературе имеются многочисленные, но противоречивые данные о влиянии профессиональных спортивных нагрузок на состояние организма человека и, в частности, на зубочелюстную систему. Ряд авторов отмечает, что заболевания тканей пародонта, некариозные поражения твёрдых тканей зубов, гипертонус жевательных мышц, изменения микробного пейзажа биотопов рта довольно часто встречаются у профессиональных спортсменов [1,2,3,4]. Некоторые ученые утверждают, что умеренные физические нагрузки способствуют снижению воспалительных заболеваний пародонта, а интенсивные — служат фактором развития этих заболеваний [5,6].

При этом очень мало сведений имеется о влиянии любительских спортивных нагрузок, в частности, довольно популярной в настоящее время, атлетической гимнастики, на состояние стоматологического статуса молодых людей [7,8].

Материалы и методы

После выявления ряда стоматологических нарушений у молодых людей, занимающихся атлетической гимнастикой с применением больших весов, им был предложен комплекс лечебно-профилактических мероприятий и использование во время спортивных занятий с отягощением разработанную нами модифицированную окклюзионную шину (патент № 188470 от 15.04.19) Часть обследуемых лиц мужского пола в количестве 31 человека, давших согласие на регулярное использование шины составили первую группу. Другая часть молодых мужчин, в том же количестве, по различным причинам отказавшаяся от применения окклюзионной шины во время спортивных занятий, составила вторую группу наблюдения.

Для обнаружения кариозных полостей использовались общепринятые (осмотр, зондирование) методы с регистрацией локализации кариозных полостей, пломб и удалённых зубов. Интенсивность поражения зубов кариесом определялась путём подсчёта индексов КПУ и КПУп. Определялись также и некариозные поражения твёрдых тканей зубов, их локализация и распространённость. Оценка повышенной стираемости проводилась с помощью индекса Смита-Найта (1984). Для оценки гигиенического состояния полости рта использовали индекс Грина-Вермиллиона (1964). Распространённость воспалительного процесса в дёснах определяли с помощью индексов ПМА в модификации Parma (1960) и КПИ по П.А. Леус (1988). Кислотоустойчивость эмали зубов оценивали по методике В.Р. Окуш-

ко с соавт. (1984) с помощью теста эмалевой резистентности (ТЭР). Проводили пальпацию и аускультацию ВНЧС, а также его функциональную оценку с помощью диагностического комплекса «Лири-100» (NMBT Group, Российская Федерация, г. Екатеринбург). Функциональное исследование жевательных мышц осуществлялось с помощью поверхностной электромиографии (ЭМГ) на аппарате «Синапс» («Нейротех» Российская Федерация, г. Таганрог). Однотометрические исследования зубов проводили с использованием цифрового штангенциркуля (ADA Mechanic 150, Китай).

Для проверки достоверности различий между количественными показателями в независимых группах применялся непараметрический критерий Манна-Уитни, различия считались значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

После проведения нуждающимся обследуемым пациентам профессиональной гигиены полости рта и подбора соответствующих средств и предметов для гигиенического ухода, а также необходимых мероприятий по санации полости рта и лечению хронического катарального гингивита была изготовлена индивидуальная окклюзионная шина, которую молодые мужчины регулярно использовали во время спортивных занятий в тренажёрном зале. В случае нарушения целостности используемого аппарата он был изготовлен вновь по той же методике в кратчайшее время.

Повторное обследование пациентов из группы наблюдения было проведено через 6, 12, 24, 36 месяцев.

Изучение прогрессирования повышенной стираемости твёрдых тканей зубов у молодых людей по значениям индекса Смита-Найта свидетельствовали о стабилизации процесса в группе обследованных лиц, пользующихся окклюзионной шиной во время спортивных занятий и тенденции ухудшения изучаемого показателя во второй группе.

В ходе изучения особенностей течения повышенной стираемости твёрдых тканей зубов в 1-й группе пациентов выяснилось, что она не претерпевала ни количественных, ни качественных изменений за весь период наблюдений. Во 2-й группе обследуемых лиц через шесть месяцев произошел прирост на одного молодого человека с локализованной формой стираемости зубов, а через два года прибавилось еще двое обследованных с такой же патологией. Через один и три года наблюдений произошло увеличение по два пациента соответственно с генерализованной формой стираемости, как результат утяжеления уже имеющейся локализованной, зарегистрированной в начале наблюдений.

Таблица 1. Влияние сочетанного лечения с использованием окклюзионной шины на показатели функционального состояния жевательных мышц у молодых мужчин, занимающихся атлетической гимнастикой (n=62, Md, Q1-Q3)

Обследуемые группы		Средняя амплитуда сжатия, микровольт		Индекс синхронности жевательных мышц (ИСЖМ)
		Правая сторона	Левая сторона	
Группа 1, n=31	исходное состояние без шины	658; 630–672	536; 517–556	123; 117–127
	через 6 месяцев без шины	635; 616–653	526; 509–546	120; 114–123
	через 6 месяцев с шиной	525; 456–543	436; 419–457	115; 110–119
	через 12 месяцев без шины	629; 611–650	520; 507–552	120; 114–122
	через 12 месяцев с шиной	485; 436–513 **	452; 407–452 **	107; 106–118
	через 24 месяца без шины	625; 603–639	527; 519–549	118; 112–121
	через 24 месяца с шиной	475; 427–509 ** ***	445; 427–469 ** ***	106; 100–110 ** ***
	через 36 месяцев с шиной	455; 417–505	460; 418–479	102; 100–104
Группа 2, n=31	исходное состояние	658; 630–672	536; 517–556	123; 117–127
	через 6 месяцев	650; 634–675	532; 515–548	122; 115–126
	через 12 месяцев	655; 638–678	531; 519–546	123; 117–127
	через 24 месяца	655; 648–689 *	527; 512–547 *	124; 117–128 *

Примечание: * — указаны достоверные различия; достоверность рассчитана по отношению к 1-й группе, $p \leq 0,05$, критерий Манни-Уитни.

** — указаны достоверные различия; достоверность рассчитана по отношению к исходным данным, $p \leq 0,05$, критерий Манни-Уитни.

*** — указаны достоверные различия; достоверность рассчитана по отношению к данным через 6 месяцев, $p \leq 0,05$, критерий Манни-Уитни.

Наблюдение за состоянием тканей пародонта, в большей степени десен, у молодых мужчин в динамике выявило, что в обеих группах показатели пародонтальных индексов стали значимо лучше уже через шесть месяцев наблюдений. Это можно объяснить выполнением пациентами назначенных рекомендаций, а также проведенным им комплексом лечебно-профилактических мероприятий. На всех этапах обследования первой группы молодых людей значения изучаемых пародонтальных индексов значимо улучшились по отношению к исходному состоянию. У пациентов второй группы, которые продолжили занятия атлетической гимнастикой без окклюзионной шины, значения индексов ПМА и ПИ имели тенденцию к увеличению и были несколько хуже, но при этом не достигали ис-

ходных величин. Состояние десен у спортсменов-любителей, пользующихся окклюзионной шиной, на контрольных этапах в один, два и три года оказалось существенно лучше, чем у молодых людей 2-й группы.

Наряду с объективным нами было проведено аппаратное исследование состояния височно-нижнечелюстного сустава. На аппарате Лира 100 определялись следующие коэффициенты: функциональное состояние сустава (ФСС) и функциональное обеспечение сустава (ФОС). Исследование на всех этапах проводилось с шиной и без неё. В 1-й группе у обследованных молодых мужчин к 12 месяцу исследования были выявлены значимые улучшения указанных коэффициентов, а к концу наблюдений коэффициенты достигали верхней грани-

цы нормы и свидетельствовали о компенсаторном состоянии ВНЧС по интерпритации значений показателей аппарата Лиры-100. У спортсменов, не пользующихся окклюзионной шиной, наблюдалось незначимое, но увеличение числовых значений показателей функционального состояния сустава (ФСС) и функционального обеспечения сустава (ФОС), что свидетельствовало об их ухудшении относительно исходного состояния.

Для оценки состояния жевательных мышц использовались данные электромиографического исследования, а именно, средняя амплитуда сжатия в центральной окклюзии правой и левой жевательной мышцы, и индекс синхронности жевательных мышц (ИСЖМ), который в норме составляет 100%. Исследование на всех этапах проводилось с шиной и без неё. Из представленных в таблице 2 данных следует, что спортивные нагрузки с отягощением в 1-й группе оказывали существенно меньшее негативное влияние на состояние жевательных мышц, чем во 2-й группе обследуемых молодых людей. Причем показатели в 1-й группе значительно улучшились к 12 месяцу исследования проводимого с окклюзионной шиной по отношению к первому этапу. К 24 месяцу индекс синхронности жевательных мышц (ИСЖМ) в 1-й группе стал близок к нормальным величинам, во 2-й группе молодых мужчин наблюдалась тенденция увеличения значений изучаемого показателя.

Для динамического наблюдения за прогрессирующим повышением стираемости твердых тканей зубов пациентам обеих групп была проведена одонтометрия. В ходе исследования с помощью штангенциркуля изме-

рялась высота коронок всех зубов (H cor). Отдельно регистрировалась высота коронок передних зубов верхней челюсти, высота коронок передних зубов нижней челюсти и высота коронок боковых зубов верхней и нижней челюсти. У пациентов 1-й группы, которые использовали окклюзионную шину на протяжении всех этапов исследования, высота коронок зубов значимо не изменилась. Во 2-й группе у молодых людей, которые продолжили заниматься атлетической гимнастикой без шины, уже через 12 месяцев регистрировалось уменьшение высоты коронок передних зубов верхней (8,4; 7,5–9,3) и нижней челюсти (7,4; 6,3–8,3) по отношению к исходным значениям соответственно: (8,5; 7,8–9,6) и (7,6; 6,6–8,6). Через 36 месяца эти изменения прогрессировали, составив (8,0; 7,1–8,9) и (7,0; 6,0–7,8), и стали существенно отличаться от исходных. В боковых отделах зубных рядов у молодых мужчин, входивших во 2-ю группу, наблюдалась тенденция уменьшения высоты жевательных зубов.

Заключение

Итак, анализ результатов проведенного исследования позволяет судить о необходимости использования молодым людям во время занятий атлетической гимнастикой с использованием больших весов окклюзионной шины. Комплекс лечебно-профилактических мероприятий, включающий и использование окклюзионной шины, способствовал предотвращению прогрессирующей аутодеструкции твердых тканей зубов, улучшению состояния тканей пародонта, а также функциональных характеристик височно-нижнечелюстных суставов и жевательных мышц у молодых людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амирханян М.А. Электромиография в амбулаторной стоматологии. Учебно-методическое пособие // Москва — 2014–21с. (соавт. Олесов Е.Е., Хамзатов Р.М., Лернер А.Я., Мельников А.И., Берсанов Р.У., Магамедханов Ю.М.)
2. Бучнева В.О., Орешака О.В. // Влияние на состояние стоматологического статуса молодых людей занятий бодибилдингом // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. — 2017. — Т. 19. № 10. — С. 196–197.
3. Журбенко, В.А. Повышенная чувствительность зубов в стоматологии, пути ее решения / В.А. Журбенко, Э.С. Саакян // Евразийский Союз Ученых. Медицинские науки — 2014. — № 10. — С. 48–51.
4. Иорданишвили, А.К. Распространенность, особенности строения и состава твердых тканей зубов у взрослых людей разных возрастных групп, страдающих повышенной стираемостью / А.К. Иорданишвили, О.Л. Пихур, В.В. Янковский // Институт стоматологии. — 2014. -№ 2. С. 51–53.
5. Розанов Н.Н. Особенности воспалительных заболеваний пародонта у представителей разных видов спорта/ Н.Н. Розанов// Пародонтология. — 2009. — № 4 (53). — С. 42–45
6. Щербаков, А.С. Диагностика бруксизма и особенности лечения окклюзионных нарушений при этой патологии у лиц молодого возраста / А.С. Щербаков, Т.В. Шулькова, С.Б. Иванова // Стоматология. — 2011. -№ 1. — С. 58–61.
7. Ganss, C. Diagnosis of erosive tooth wear / C. Ganss, A. Lussi // Monographs in Oral Science. — 2014. — Vol. 25. — P. 22–31.
8. Lussi, A. Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge / A. Lussi, T.S. Carvalho // Monographs in Oral Science. — 2014. — Vol. 25. — P. 1–15.

© Бучнева Валерия Олеговна (ortstomagmu@ya.ru), Гуревич Юрий Юрьевич (ortstomagmu@ya.ru),

Орешака Олег Васильевич (ortstomagmu@ya.ru), Швец Марина Васильевна (ortstomagmu@ya.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НОРМОДОНТНЫХ ЗУБНЫХ ДУГ МЕЗОГНАТИЧЕСКОГО ТИПА

EVALUATION OF METHODS FOR THE STUDY OF NORMODONTIC DENTAL ARCHES OF MESOGNATHIC TYPE

N. Vasilyeva
M. Puzdyreva
M. Rozhkova
S. Fischev
A. Sevastyanov
I. Orlova
T. Shishko
L. Kuzmina

Summary. Currently, issues related to the influence of individual characteristics of the dental system and their proportionality to dental arches on the stability of treatment results in the clinic of orthodontics and prosthetic dentistry remain insufficiently studied. Of particular importance are the research methods used in the orthodontics clinic to diagnose various types of dental arch anomalies in people with normodont dental arches and mesognathic facial types.

Keywords: orthodontics, malocclusion, dental arches, reproduction of the shape of dental arches.

Васильева Нелли Александровна

Ассистент, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
vas.nell@yandex.ru

Пузырева Маргарита Николаевна

К.м.н., ассистент, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
seven-spb@yandex.ru

Рожкова Мария Геннадьевна

Ассистент, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
rozmaria2010@yandex.ru

Фищев Сергей Борисович

Д.м.н., профессор, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
super.kant@yandex.ru

Севастьянов Аркадий Владимирович

Д.м.н., профессор, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
ardy.dkr@mail.ru

Орлова Ирина Викторовна

К.м.н., доцент, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
orisha@mail.ru

Шишко Татьяна Владимировна

Ассистент, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ
tat-sh04@rambler.ru

Кузьмина Лариса Владимировна

Ассистент, Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет Министерства здравоохранения РФ.
rozmaria2010@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время недостаточно изученными остаются вопросы, связанные с влиянием индивидуальных особенностей зубочелюстной системы и их соразмерность зубным дугам на стабильность результатов лечения в клинике ортодонтии и протетической стоматологии. Особое значение имеют методы исследования, используемые в клинике ортодонтии для диагностики различных видов аномалий зубных дуг у людей с нормодонтными зубными дугами и мезогнатическими типами лица.



Существующие методы диагностики патологии зубных дуг в настоящее время требуют уточнения и дополнения, что объясняется, во-первых, появлением современных методов исследования; во-вторых, разработкой и внедрением новых технологий при лечении патологии окклюзионных нарушений; в-третьих, повышенными требованиями пациентов к проводимым лечебно-профилактическим и диагностическим мероприятиям [1, 2, 3].

Современные классификации формы и размеров зубных дуг подкреплены сведениями об основных линейных размерах, однако они приведены при исследовании пациентов с физиологической окклюзией постоянных зубов [4, 5, 6, 7, 8]. Предложенные методы измерения диагональных размеров зубных дуг основаны на положении межрезцовой точки, которая при аномалиях формы и размеров зубных дуг может менять свое положение [9, 10, 11, 12, 13]. Зачастую затруднено прогнозирование размеров зубных дуг при аномалиях их формы и размеров. Крайне мало сведений по оценке соответствия размеров зубов и зубных дуг индивидуальным параметрам головы и лица. Не разработаны четкие алгоритмы исследования аномальных зубных дуг для определения тактики ортодонтического лечения.

Цель исследования

Повышение эффективности диагностики зубочелюстных аномалий за счет оптимизации методов исследования зубных дуг с учетом индивидуальных особенностей челюстно-лицевой области.

Материалы и методы исследования

С нормодонтными зубными дугами встречались лица различных типов зубных дуг, в частности долихо-, брахи- и мезогнатические, в зависимости от величины дентального индекса зубной дуги [1, 2, 39, 10, 11, 12, 13].

Мы проводили исследования 36 лиц, имеющих нормодонтные зубные дуги с мезогнатическим типом. Дентальный индекс верхней зубной дуги в среднем составлял $0,94 \pm 0,03$, для нижней зубной дуги индекс был $0,96 \pm 0,02$.

Результаты исследования

Размеры групп зубов у людей исследуемой группы с нормодонтизмом и мезогнатическим типом зубных дуг показаны в таблице 1.

Ключевые слова: ортодонтия, аномалии прикуса, зубные дуги, репродукция формы зубных дуг.

В результате исследования установлено, что суммарная величина широтного одонтометрического показателя, определяемого как длина верхней зубной дуги составляла $114,66 \pm 2,87$ мм. Для нижней зубной дуги аналогичный показатель составлял $107,06 \pm 2,95$ мм.

Полученные данные соответствовали параметрам нормодонтных типов зубных дуг, что было подтверждено величиной среднего модуля моляров. Для верхних моляров средний модуль был $10,82 \pm 0,09$, для зубов нижней челюсти — $10,75 \pm 0,11$.

Отношение длины зубной дуги верхней челюсти к такому же размеру нижних зубов составило 1,071, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия определения соответствия размеров верхних и нижних зубов.

Отношение суммы ширины коронок резцов верхней челюсти, к таким же параметрам нижней челюсти составило $1,342 \pm 0,018$ (индекс Tonni).

Отношение суммы ширины коронок 6 передних зубов нижней и верхней челюсти (переднее соотношение по Bolton) составило $77,539 \pm 0,283$.

Отношение суммы ширины коронок 12 передних зубов нижней и верхней челюсти (полное соотношение по Bolton) составило $91,19 \pm 0,87$.

Полученные индексы соответствовали норме и свидетельствовали о соразмерности зубов обеих челюстей.

Предложенная нами оценка соразмерности величин 14 зубов обеих челюстей показала, что процентное отношение размеров нижних зубов к верхним составило $93,37 \pm 1,76\%$, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия определения соответствия указанных величин.

Ширина коронок 4 резцов верхней челюсти позволила нам рассчитать ширину зубных дуг по методам Pont и Linder-Harth (L-H), оценить глубину зубной дуги по методу Korkhaus. Кроме того, оценивали равенство сегментов по Gerlach.

Результаты исследования зубных дуг с использованием общепринятых методов представлены в таблице 2.

Таблица 1. Размеры групп зубов у людей с нормодонтизмом и мезогнатическим типом зубных дуг при физиологическом прикусе.

Показатели измерения	Размеры зубов (в мм) на:	
	верхней челюсти	нижней челюсти
Ширина коронок 4 резцов	30,20±1,34	22,50±0,94
Ширина коронок 6 передних зубов	45,68 ±1,26	35,42±1,14
Ширина коронок 12 зубов	94,26±1,43	85,96±1,56
Ширина коронок 14 зубов	114,66±2,87	107,06±2,95

Таблица 2. Основные линейные размеры нормодонтных мезогнатических зубных дуг при физиологическом прикусе.

Параметры зубных дуг	Размеры зубной дуги (в мм) на челюсти:			
	верхней		нижней	
	расчетные	фактические	расчетные	фактические
Ширина в области премоляров по Pont	37,75±1,34	35,14±1,48	37,75±1,34	34,97±1,58
Ширина в области моляров по Pont	47,19±1,67	46,51±1,86	47,19±1,67	46,31±1,58
Ширина в области премоляров по L-H	35,53±1,27	35,14±1,48	35,53±1,27	34,97±1,58
Ширина в области моляров по L-H	46,46±1,49	46,51±1,86	46,46±1,49	46,31±1,58
Глубина переднего отдела по Korkhaus	17,5±0,29	17,3±0,41	15,5±0,29	15,2±0,35

Таблица 3. Основные линейные размеры нормодонтных мезогнатических зубных дуг при физиологическом прикусе.

Параметры зубных дуг	Размеры зубной дуги (в мм) на челюсти:			
	верхней		нижней	
	расчетные	фактические	расчетные	фактические
Ширина между клыками	35,94±1,28	35,93±1,45	27,75±0,87	27,14±1,35
Ширина между вторыми молярами	61,09±1,14	59,98±2,12	55,54±1,29	55,5±1,46
Глубина до уровня клыков	7,96±0,26	8,0±0,63	5,88±0,27	6,05±0,56
Глубина до уровня моляров	44,02±1,18	44,37±1,72	42,25±1,27	42,3±1,71
Диагональ до уровня клыков	19,65±0,32	19,69±0,44	15,07±1,22	15,01±1,39
Диагональ до уровня моляров	53,598±1,29	53,28±1,57	50,54±1,22	49,82±1,41

Результаты исследования показали, что при физиологическом прикусе у людей с нормодонтными мезогнатическими вариантами зубных дуг широтные параметры отличаются от расчетных показателей, определяемых по общепринятым методам.

Так, широтный параметр верхней зубной дуги, измеряемый между премолярами, был меньше чем рассчитанная величина по индексам Pont на 2,61±0,24 мм. Между молярами разница показателей была 0,69±0,52 мм. На нижней челюсти прослеживалась та же закономерность. Ширина нижней зубной дуги между премолярами была меньше, чем рассчитанная по индексам Pont на 2,78±0,41 мм, а между постоянными молярами на 0,88±0,45 мм.

В тоже время, ширина зубной дуги верхней челюсти в области премоляров и моляров соответствовала расчетным показателям по методу Linder и Harth. На нижней челюсти прослеживалась та же закономерность и достоверных различий между фактическими и расчетными данными нами не отмечено.

Таким образом, при обследовании людей с нормодонтными мезогнатическими формами зубных дуг из общепринятых методов исследования трансверсальных размеров, более приемлем метод Linder и Harth. Метод Pont имеет существенные погрешности, что может отражаться на выборе методов и определении эффективности ортодонтического лечения.

Сагитальные размеры обеих челюстей были близки к расчетным величинам, и глубина переднего отдела для верхней и нижней зубных дуг составляла $17,3 \pm 0,41$ мм и $15,2 \pm 0,35$ мм соответственно.

Длина бокового сегмента по Gerlach для верхней зубной дуги составила $30,79 \pm 0,93$ мм, а для нижней дуги — $30,68 \pm 0,79$ мм, что практически не отличалось от размеров переднего отдела зубной дуги, а именно суммы ширины коронок 4 резцов. Полученные данные свидетельствовали о соразмерности отдельных участков зубной дуги и позволяли использовать данный метод для исследования нормодонтных мезогнатических зубных дуг при аномалиях их формы и размеров.

Согласно предложенному нами алгоритму обследования пациентов вначале определяли гнатический тип лица. У обследуемого контингента межкозелковое расстояние ($t-t$) составляло $140,53 \pm 2,39$ мм, а диагональ гнатической части лица ($t-sn$) была $126,13 \pm 1,88$ мм. Процентное отношение диагонали лица к его ширине (ГИЛ) составляло $89,7 \pm 2,02$, что было свойственно характеристикам мезогнатического типа лица. Величина диагональных размеров соответствовала показателям нормодонтного типа гнатической части лица. Таким образом, в рассматриваемой группе были пациенты с нормодонтными мезогнатическими типами лица.

Соотношение ширины коронки верхнего медиального резца к размерам латерального резца в среднем по группе составляло $0,81 \pm 0,02$, что соответствовало нормальным показателям. Отношение мезиально-дис-

сального размера верхнего клыка к аналогичному параметру верхнего медиального резца было $0,91 \pm 0,03$, а по отношению к латеральному резцу — $1,11 \pm 0,03$, что также свидетельствовало о гармонии размеров передних зубов.

Затем проводили измерения зубных дуг, в соответствии с предложенными методами исследования.

Результаты исследования зубных дуг, с использованием предложенного нами алгоритма показаны в таблице 3.

Следует отметить, что расчетные размеры зубных дуг практически соответствовали фактическим величинам, что свидетельствовало об эффективности предложенных методов исследования. Достоверных различий между расчетными и фактическими показателями не обнаружено.

Индекс верхней дуги (отношение глубины дуги к ее ширине) был в пределах $0,73 \pm 0,02$ а нижней зубной дуги — $0,76 \pm 0,01$, что соответствовало мезогнатическому типу зубных дуг.

Таким образом, предложенные методы исследования были наиболее близки к основным размерам зубных дуг постоянного ортогнатического прикуса. Предложенный алгоритм может быть использован в клинике ортодонтии для диагностики различных видов аномалий зубных дуг у людей с нормодонтными мезогнатическими типами лица и зубных дуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агашина М.А. Прогнозирование результатов ортопедического лечения пациентов с вертикально-мезиальной формой повышенной стираемости зубов. / М.А. Агашина, С.Б. Фищев, С.В. Дмитриенко, А.В. Лепилин, Д.Н. Балахничев // Пародонтология. — 2017. Т. XXII — № 1(82). С. 31–37.
2. Агашина М.А. Параметры зубных дуг верхней и нижней челюстей в трансверзальном направлении. / М.А. Агашина, С.Б. Фищев, С.В. Дмитриенко, А.В. Лепилин, Д.Н. Балахничев // Стоматология детского возраста и профилактика. — 2017. — Т. XVI — № 1(60). С. 36–39.
3. Пузырева М.Н., Субботин Р.С., Фищев С.Б., Фомин И.В., Кондратюк А.А., Орлова И.В. Дифференциальная диагностика патологических и физиологических видов резцового перекрытия // Педиатр. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 39–44.
4. Ртищева С.С., Фищев С.Б., Севастьянов А.В. и др. Аномалии размеров зубов и основные варианты микродонтизма // Профилактика основных стоматологических заболеваний: Материалы республиканской конференции стоматологов. — Уфа, 2011. — С. 181–184.
5. Dmitrienko S.V., Lepilin A.V., Domenyuk D.A., A.A. Kondratyuk Clinical meaning of methods for identifying variability of mental prominence location // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9. Num. 1. — P. 45–46.
6. Dmitrienko T.D., Domenyuk D.A., Porfyriadis M.P., Arutyunova A.G., Kondratyuk A.A., Subbotin R.S. Connection between clinical and radiological torque of medial incisors at physiological occlusion // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9. Num. 1. — P. 29–37.
7. Fischev S.B., Puzdyryova M.N., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in peoples with dental arch issues combined with occlusion anomalies // Archiv EuroMedica. — 2019. — Т. 9. — № 1. — P. 162–163.
8. Fomin I.V., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A., Arutyunova A.S. Effect of jaw growth on dentofacial angle in analyzing lateral telerradiographic images // Archiv EuroMedica. 2019. vol. 9, num. 2. P. 136–137.
9. Kondratyuk A., Subbotin R., Lepilin A., Puzdrev M., Fischev S., Sevastynov A., Doenyuk D, Rozhkova M. Dependence of facial morphometric parameters from masticatory muscles tone in people with horizontal type of increased dental abrasion // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9. Num. 3. — P. 91–96.

10. Lepilin A.V., Fomin I.V., Domenyuk D.A., Dmitrienko S.V., Budaychiev G.M-A. diagnostic value of cephalometric parameters at graphic reproduction of tooth dental arches in primary teeth occlusion // Archiv euromedica. — 2018. — V.8. — № 1. — P. 37–38.
11. Puzdryyova M.N., Fischev S.B., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in people with dental arch issues combined with occlusion anomalies // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9, Num. 1. — P.162–163.
12. Shen L. He F., Zhang C. Prevalence of malocclusion in primary dentition in mainland China, 1988–2017: a systematic review and meta-analysis // Sci. Rep.— 2018. — Vol. 8. — № 1. — P. 4716.
13. Singh S., Sharma A., Sandhu N. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment needs in school going children of Nalagarh, Himachal Pradesh, India // J. Dent. Res. — 2016. — Vol. 27. — № 3. — P. 317–322.

© Васильева Нелли Александровна (vas.nell@yandex.ru), Пуздырева Маргарита Николаевна (seven-spb@yandex.ru),
Рожкова Мария Геннадьевна (rozmaria2010@yandex.ru), Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru),
Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru), Орлова Ирина Викторовна (orisha@mail.ru),
Шишко Татьяна Владимировна (tat-sh04@gambler.ru), Кузьмина Лариса Владимировна (rozmaria2010@yandex.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

ОСОБЕННОСТИ МЕСТНОГО ИММУНИТЕТА ПОЛОСТИ РТА У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРВИЧНОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПОТЕНЗИЕЙ

FEATURES OF LOCAL ORAL IMMUNITY IN PATIENTS WITH PRIMARY ARTERIAL HYPOTENSION

M. Dzgoeva
A. Remizova
A. Kokoev
Z. Dzgoeva
L. Kanukova
Z. Sakaeva
K. Sakaeva

Summary. The oral cavity is an area that comes into contact with the maximum possible number of pathogens and external factors, at the same time, it is one of the components of the human body's immune system. The subject of this review was the study of the relationship between oral immunity and such a common pathology as primary arterial hypotension.

The issue of periodontal diseases remains in the focus of interest of multiple studies and is considered an important problem in dentistry. This is due to the presence of various fats and the prevalence of the disease. A widespread trend in modern periodontology is the search and application of effective methods of periodontitis treatment. The factor of low efficiency of treatment of periodontal pathology is considered to be a small understanding of the elements of the formation of this pathology. The latest technological processes used in the unified treatment of destructive forms of periodontitis are focused on restoring its homeostasis. However, the analysis of long-term studies proves the need to influence the immunogenetic resistance of the organism as a whole. Multiple studies have established that periodontitis suppresses immune reactivity both by cellular mechanisms and by humoral factors.

Keywords: primary arterial hypotension, periodontitis, local oral immunity, humoral immunity, immune reactivity, immune system, cytokines.

Дзгоева Мадина Георгиевна

Д.м.н., доцент, ФГБОУ ВО Северо-Осетинская
медицинская академия Минздрава России
madina-dzgoeva@mail.ru

Ремизова Анна Александровна

Д.м.н., доцент, ФГБОУ ВО Северо-Осетинская
медицинская академия Минздрава России

Кокоев Азамат Борисович

Ассистент, ФГБОУ ВО Северо-Осетинская
медицинская академия Минздрава России
kokoevazamat@yandex.ru

Дзгоева Залина Георгиевна

Ассистент, ФГБОУ ВО Северо-Осетинская
медицинская академия Минздрава России
dzgoeva55@gmail.com

Канукова Лариса Станиславовна

Ассистент, ФГБОУ ВО Северо-Осетинская
медицинская академия Минздрава России
kanukova45@gmail.com

Сакаева Зарина Ушангиевна

Ассистент, ФГБОУ ВО Северо-Осетинская
медицинская академия Минздрава России
sacaevazarina54@mail.com

Сакаева Камилла Ушангиевна

Первый Московский Государственный Медицинский
университет имени И.М. Сеченова
SakaevaK67@yandex.ru

Аннотация. Полость рта — область, которая контактирует с максимально возможным количеством патогенов и внешних факторов, вместе с тем, является одной из составляющих системы иммунитета организма человека. Предметом настоящего обзора явилось изучение вопроса о взаимосвязи иммунитета полости рта и такой распространенной патологии, как первичная артериальная гипотензия.

Вопрос заболеваний пародонта остается в фокусе интереса множественных исследований и считается важной проблемой в стоматологии. Это объясняется наличием различных факторов, а также распространенностью заболевания. Одно из наиболее распространенных направлений в современной пародонтологии является поиск и применение результативных методов лечения пародонтита. Фактором низкой эффективности лечения патологии пародонта считается малое понимание элементов формирования этой патологии. Новейшие технологические процессы, используемые в едином лечении деструктивных форм пародонтита, ориентированы на восстановление его гомеостаза. Однако и анализ долговременных исследований доказывает потребность во влиянии в иммуногенетическую резистентность организма в целом. Многократными исследованиями установлено при пародонтите происходит угнетение иммунной реактивности как по клеточным механизмам, так и по гуморальным факторам.



Введение

Полость рта является основным местом проникновения для множества патогенов и повреждающих факторов внешней среды. Слизистая оболочка полости рта (СОПР) — это часть мукозальной подсистемы, которая относится к общей системе иммунитета организма [1]. В эпителиальном пласте, слизистой оболочке полости рта, подслизистом слое присутствуют как клеточные элементы, так и гуморальные факторы, способные автономно реагировать на разнообразные антигены, механические, химические и другие воздействия, обеспечивая гомеостаз в приемлемых интервалах. Целью данного обзора является обсуждение местных иммунных механизмов СОПР и их равновесия между ними и биотой ротовой полости как в норме, так и при некоторых патологических процессах, в особенности на фоне сосудистых дистоний.

Цель исследования

Изучить вопрос о взаимосвязи иммунитета полости рта и такой распространенной патологии, как первичная артериальная гипотензия.

Материалы и методы

Научная литература и обзоры в системы WoS и Scopus. Был осуществлен обзор научных трудов. Рассмотрены вопросы взаимосвязи иммунитета полости рта и такой распространенной патологии, как первичная артериальная гипотензия.

Результаты и их обсуждение

Пародонтит — актуальная проблема стоматологии, над решением которой работают специалисты различных профилей. С клинической точки зрения, данная патология требует комплексного лечения, а также нередко полиэтиологична, включая в том числе, целый ряд общесоматической патологии. Воспалительные заболевания пародонта занимают одно из первых мест и являются актуальной проблемой среди всех заболеваний полости рта. Распространенность заболеваний пародонта выражена у лиц всех половозрастных групп [2]. Уровень одонтологического здоровья «существенно влияет на качество жизни и медико-социальный прогноз». Выявлено, что наличие пародонтита различной степени тяжести у пациента значительно увеличивает вероятность сердечно-сосудистых заболеваний. Еже-

Ключевые слова: первичная артериальная гипотензия, пародонтит, местный иммунитет полости рта, гуморальный иммунитет, иммунная реактивность, иммунная система, цитокины.

годно увеличивается число статей, в которых проводятся исследования взаимосвязи организма и состояния полости рта. Предполагаются серьезные патологии например глюкозотоксичность, остеопороз, различные сердечно-сосудистые и желудочно-кишечные заболевания, ревматоидный артрит, красная волчанка, болезни дыхательных путей, хронические болезни почек, когнитивные расстройства, ожирение, метаболический синдром, заболевания эндокринной железы, лейкоз, нарушения работы иммунной системы. Так же есть предположение что пародонтит может содействовать в развитии болезни Альцгеймера.

Как известно, иммунная система включает в себя многочисленные специфические и неспецифические механизмы клеточного, и гуморального иммунитета. При длительно проходящем воспалении пародонта происходят изменения в работе иммунной системы. Существуют различные факторы неспецифической защиты: ретикулярные, полиморфно-ядерные лейкоциты (ПМЯЛ), гистиоциты, эозинофилы; фибронектин, лизоцим, тучные клетки, простагландины (E, F, A), интерферон, пропердин; система комплемента. Включение специфических иммунных реакций в различные патогенетические факторы воспаления десны, происходит из-за генерализации этого патологического процесса, а также перехода данного патологического процесса в длительную, хроническую фазу. Проводятся изучения смешанной нестимулированной слюны, благодаря чему становится возможным определить состояние местных факторов защиты. Выявляют показатели: 1) концентрация секреторного IgA; 2) уровень лизоцима, который является неспецифическим фактором защиты; Оценка состояния клеточной неспецифической защиты проводится путем иммунологического исследования периферической крови (функциональная активность ПМЯЛ, состояние T- и B-систем иммунитета), также специфических факторов защиты (содержание сывороточных антител к пародонтопатогенным бактериям). В ряде исследований показано, что укрепление иммунитета на системном уровне благотворно влияет на успех терапии заболеваний пародонта. Некоторые авторы также изучили влияние местного иммунитета на состояние тканей пародонта, но в этом вопросе отмечается достаточно много неосвещенных проблем.

Обнаруживается рост данных, подтверждающих клинически роль взаимосвязи бактериальной инфекции и болезнью периферических артерий (PAD). Бактерии, участвовавшие в патогенезе PAD, это: пародонталь-

ные бактерии, кишечная микробиота, *Helicobacter pylori* и *Chlamydia pneumoniae*. В патогенез атеросклероза могут быть вовлечены инфекционные агенты через механизм активации системного, иногда, локального иммунологического ответа хозяина на проникновение болезнетворных бактерий во внесосудистые ткани, а также сосудистые стенки. Происходит повреждение сосудистых стенок в результате аутоиммунологических перекрестных реакций между сосудистыми антигенами хозяина и различными инфектами. Кроме вышеперечисленной бактериальной инфекции способна провоцировать прогрессию или обострение PAD в результате повышения реактивности тромбоцитов, которая стимулирует действия на факторное связывание Виллебранда, фактора VIII, фибриногена, активации Р селектина, приводит к нарушению липидов плазмы. Происходит существенное повышение окислительного стресса, а также резистентность к инсулину [15].

Очевидно, что в ряде клинических случаев общепринятой терапии заболеваний пародонта недостаточно, поскольку терапия также должна быть направлена на все этиологические факторы. При этом на первый план выходит адекватная диагностика, с целью выявления максимального спектра этиологических факторов. Это было показано в исследовании Блашковой С.Л., [3] где с использованием современных методов убедительно раскрыто видовое многообразие бактерий в области пародонта. Также выявлены достоверные различия в уровне иммуноглобулинов полости рта у пациентов с общепринятой терапией и прошедших терапию по индивидуализированной программе в соответствии с проведенным расширенным исследованием микробного пейзажа полости рта.

Помимо вопросов терапии и подбора соответствующей реабилитационной программы, немаловажную роль играет и социальный аспект. В частности, были проведены исследования, направленные на изучение восприятия пациентами своей болезни, и влияния заболеваний пародонта на качество жизни пациентов, а также влияние других социокультурных факторов на успешность лечения [2, 12]. Доказано, что адекватное восприятие пациентами своего заболевания приводит к более успешной и полноценной реабилитации с минимальным числом ремиссий в дальнейшем. Такой фактор как индекс качества жизни широко используется в зарубежной практике, включая физическое, эмоциональное, социальное, психологическое состояние пациента. Несмотря на высокую субъективность такой оценки, она может быть формализована в виде соответствующего опросника. Комплексное пародонтологическое лечение и поддерживающая терапия улучшают субъективную оценку качества жизни у пациентов как с ХП тяжелой степени, так и с АП. На состояние паци-

ентов с хроническим генерализованным пародонтитом влияют следующие факторы: типа резорбции костной ткани межальвеолярных перегородок, зависящий от наличия полноценной окклюзии и ортопедических конструкций, а также интенсивность воспалительно-деструктивных изменений пародонта. По мимо этого благополучие зависит так же и от социальных факторов таких как половая принадлежность, социальное благополучие, образование, трудовая занятость, уровень финансов, семейное положение, и одним из главных факторов наличие пагубных привычек.

Что касается изучения микроциркуляторного русла при заболеваниях пародонта, то в ряде исследований различных авторов отмечена сильная корреляция между нарушениями микрогемодинамики и функциональным состоянием пародонта [6, 9, 10]. Полученные данные, свидетельствуют, что фоновые нарушения системной гемодинамики могут внести значительный вклад в развитие заболеваний пародонта. Также рядом исследователей отмечено, что нарушения местной микрогемодинамики существенно влияет на тяжесть клинической картины при заболеваниях пародонта [3, 6].

В одном из исследований стоматологического статуса пациентов с первичной артериальной гипотензией обнаружена более высокая заболеваемость различной стоматологической патологией, в первую очередь, включая функциональное состояние тканей пародонта. В то же время при артериальной гипертензии (АГ) отмечается ухудшение стоматологического статуса в более старшей возрастной группе [6, 10]. В исследованиях использовались как методы капилляроскопии, так и методы лазерной доплеровской флоуметрии. В диагностике воспалительных заболеваний пародонта подобные методы достаточно громоздки и не всегда оправдываются клинической картиной, четко не указывая на этиологию, а демонстрируя лишь результат развившегося процесса.

Поэтому закономерен интерес исследователей к изучению биохимического состава ротовой жидкости, в частности, перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы слюны. Но, поскольку процесс перекисного окисления в организме осуществляется непрерывно, то диагностика с помощью такого метода остается недостаточно точной [5, 8].

Осложняется ситуация и тем, что ряд исследователей обнаружил отличия иммунного статуса на различных стадиях лечения и протекания заболеваний пародонта. Точно также различался и иммунный ответ. Рассматривать данные лабораторных исследований с учетом иммунного статуса, стадии заболевания и эта-

па терапии является достаточно сложной задачей для широкого клинического применения [7, 11].

Одним из авторов Стариковой И.В. было проведено исследование показателей состояния иммунитета у пациентов определенной возрастной группы, а именно от 35 до 55 лет с хроническим генерализованным пародонтитом, который часто возникает на фоне артериальной гипертензии и метаболического синдрома. Основываясь на результатах, полученных в ходе обследования, можно сделать вывод о том, что происходит увеличение числа нейтрофилов и лимфоцитов, снижение количества эпителиальных клеток, а также наблюдается фагоцитарная активность нейтрофилов, которая способствует снижению уровня местного иммунитета. Также, в ходе исследования обнаружено увеличение содержания IgG и IgM на фоне снижения концентрации IgA в десневой жидкости пациентов. Установлено что изменение иммунитета более существенно проявляется у пациентов с наличием метаболического синдрома чем у больных с гипертензией. Это говорит о необходимости применения иммунокорректирующих препаратов в комплекс лечения больных с подобными симптомами. В другом исследовании Стариковой И.В. биоты полости рта при изучении иммунологического статуса больных хроническим генерализованным пародонтитом средней степени, у которых было обнаружено наличие метаболического синдрома были установлены следующие изменения в показателях местного иммунитета: увеличении концентрации IgG и IgM в десневой жидкости, снижении IgA, а также количественное изменение соотношения Э: Н: Л, также наблюдалось существенное повышение уровня IgG на фоне резкого снижения IgA неблагоприятными симптомами развивающегося заболевания.

В последние годы внимание исследователей привлекли так называемые Т-регуляторные клетки, которые играют защитную и пролиферативную роль при заболеваниях пародонта и обнаружены в ротовой жидкости [12]. Цитокины, которые продуцируются Т-клетками, оказывают противовоспалительное действие при заболеваниях пародонта. Малоизученным остается процесс перехода от стадии, в которой доминируют Т-клетки, к стадии развившегося воспаления. На этой стадии отмечается сниженный ответ этих клеток на повреждающие факторы, то есть имеются проявления иммуносупрессии.

В ремоделировании тканей десны в процессе лечения заболеваний пародонта обнаружена связь с состоянием местного клеточного иммунитета. Иммуногистохимические исследования показали, что иммунные клетки в здоровой и пораженной десне в значительной степени отличаются количественно, что влияет на про-

цессы ремоделировании тканей пародонта, особенно при хроническом течении процесса [12–14].

Исследователи утверждают, что показателем активности процесса будут являться соотношение различных хелперных, а также супрессорных популяций лимфоцитов в крови пациентов с пародонтозом. В результате иммуногистохимического исследования, в тканях десны этих пациентов был установлен повышенный уровень субпопуляций Т-хелперов и понижение Т-супрессоров. Было доказано что при снижении содержания Т- и В-лимфоцитов, а также Т-хелперов, резко увеличивается число естественных киллеров (CD16+) и цитотоксических Т-лимфоцитов (CD8+) в крови пациента. Данное явление вызвано повышенной возбудимостью клеток иммунной системы, что увеличивает шанс развития различных клеточных иммунопатологических реакций. Также было установлено, что повышение супрессорной активности оправданно реакцией организма, выполняющей функцию подавления воспалительных процессов.

Прямое влияние на состояние пародонта оказывают различные нарушения метаболизма, гемодинамики, иммунологические и нейрорегуляторные нарушения и сдвиги микробиоценоза. Подобным действием обладают различные гормональные, эндокринные и генетические нарушения. Из-за всех этих факторов тактика лечения пародонтоза может не дать положительных результатов.

Анализ данных литературы свидетельствует о многофакторности и полиэтиологичности патологических процессов в пародонте. Неразделимыми являются общее состояние организма с особенностями функционирования органов зубочелюстной системы. На фоне множества заболеваний происходит снижение иммунологической реактивности организма человека, что, безусловно, сказывается на характере течения и распространенности стоматологической патологии. Выраженные нарушения системной и региональной гемодинамики, присущие пациентам с сосудистыми дистониями, сопровождаются нарушениями внутреннего гомеостаза и влияют на функционирование основных систем организма. Это, в том числе, относится и к иммунной системе. Микроциркуляторные расстройства при этом не могут не влиять на состояние местного иммунитета пародонта и характер микробного состава ротовой жидкости. Значительная распространенность пациентов с первичной артериальной гипотензией, имеющих высокий риск развития заболеваний зубочелюстной системы, диктует необходимость более детального изучения патогенетических механизмов развития указанной патологии. Неизученным у данной категории пациентов остается влияние

местного иммунитета на характер течения заболеваний пародонта.

Выводы

В результате проведенного анализа литературы мы убедились, что достаточное число исследований посвящено как состоянию местного иммунитета полости рта, различным, иногда очень громоздким и сложным методам диагностики, призванным помочь составить максимально индивидуализированную программу лечения, так и вопросам влияния ПАГ на состояние полости рта.

Вместе с тем, нами не обнаружено исследований, где описана связь состояния местного иммунитета

в парадонта при ПАГ с тяжестью течения заболеваний пародонта. Имеются публикации, посвященные данной проблематике при других системных заболеваниях. Считаем, что этот вопрос заслуживает более пристального изучения, учитывая высокую социальную значимость как заболеваний пародонта, так и ПАГ. Высокая распространенность патологии зубочелюстной системы у пациентов с первичной артериальной гипотензией диктует необходимость более углубленного изучения патогенетических механизмов влияния данного системного заболевания на состояние стоматологического статуса. Это позволит разработать индивидуальный подход к подбору терапии воспалительных заболеваний пародонта, как одним из наиболее распространенных патологических процессов, развивающихся на фоне сосудистых дистоний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belenova, I.A. The influence of inflammatory periodontal diseases on the quality of life of an individual, rehabilitation opportunities/ I.A. Belenova, G.B. Kobzeva//Bulletin of New Medical Technologies. —2014. —No.1. —p.56
2. Biktimirova, O.O. Neediness and adherence to periodontological treatment of patients with inflammatory periodontal diseases / T.L. Redinova, O.O. Biktimerova // Proceedings of the Izhevsk Medical Academy. — Izhevsk, 2015. — Vol. 53. — p. 121–123.
3. Blashkova, S. Liu The prevalence of microbial associations in periodontitis in patients with cardiovascular pathology / S. Liu Blashkova, E.M. Vasilevskaya, E. Nu Zhadko // Periodontology. — 2015. — Vol. XX, No. 1 (74). — pp. 3–6.
4. Bulgakova, A.I. Immunological aspects of periodontitis: monograph / A.I. Bulgakova, Y u.A. Medvedev; G. Sh. Zubairova. — Lambert. — 2012. — 106 p.
5. Vasilyeva N.A., Bulgakova A.I., Imelbaeva E.A., Vasiliev E.A. Assessment of local immunity of the oral cavity in the traditional therapy of inflammatory periodontal diseases. Problems of Dentistry 2018, volume 14, No. 3, pp.11–16 © 2018, Yekaterinburg, UGMU
6. Age-related features of dental status in patients with vascular dystonia. Dzgoeva M.G., Kaloeva Z.D., Dzilikhova K.M., Karyeva S.K., Dzgoeva Z.G., Tuева N.O., Kanukova L.S. Modern orthopedic dentistry. 2011. No. 15. pp. 94–99.
7. Grudyanov A.I., Sysyoeva V. Yu., Ternovoy Y u.V. Stem cells and the possibilities of their use in periodontology. Dentistry. 2012; 1: 71–5.
8. Diagnostics and prognosis of the course of periodontal diseases using molecular biological and enzyme immunoassay systems: medical technology No. FS –2006/043-U dated April 10, 2006 [Text] / V.N. Tsarev, E.N. Nikolaeva, L. Ya. Plakhtiy [et al.]; Moscow State Medical and Dental University of Roszdrav. — M., 2006.
9. Smirnova, T.N. Computer capillaroscopy in the diagnosis of microcirculatory disorders in inflammatory periodontal diseases / T.N. Smirnova // Dentistry. — 2017. — No. 3. — Vol. 96. — p.73.
10. Smirnova, T.N. Criteria for assessing microhemodynamic disorders in periodontal tissues / T.N. Smirnova // Dentistry. — 2016 — No. 3 — pp.73–74.
11. Tarasova Yu.G., Kuznetsova V. Yu., Lyubomirsky G.B. The importance of local factors in the development of inflammatory periodontal diseases in people of different ages. Clinical dentistry. 2011; 3: 70–4.
12. Shinkevich V.I., Kaidashev I.P. The role of cellular immunity factors in the remodeling of gum tissues in chronic generalized periodontitis. Dentistry. 2012; 1: 23–7.
13. Raffler N.A. L-selectin in inflammation, infection and immunity / N.A. Raffler, J. Rivera-Nieves, K. Ley // Drug Discov Today TherStrateg. — 2005. — Vol. 2(3). — P.
14. Zouali M. The emerging roles of B cells as partners and targets in periodontitis / M. Zouali // Autoimmunity. — 2017. — Feb. — Vol. 50(1). — P. 61–70.
15. The Human Oral Microbiome / E. Floyd, F.E. Dewhirst, T. Chen, J. Izard et al. // J Bacteriol. — 2010. — Vol. 192, № 19. — P. 5002–5017.

© Дзгоева Мадина Георгиевна (madina-dzgoeva@mail.ru), Ремизова Анна Александровна,

Кокоев Азамат Борисович (kokoevazamat@yandex.ru), Дзгоева Залина Георгиевна (dzgoeva55@gmail.com),

Канукова Лариса Станиславовна (kanukova45@gmail.com), Сакаева Зарина Ушангиевна (sacaevazarina54@mail.com),

Сакаева Камилла Ушангиевна (SacaevaK67@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СТРУКТУРА ОБРАЩАЕМОСТИ К АМБУЛАТОРНОМУ ХИРУРГУ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ СТОП И НОГТЕЙ И ИХ ПРОФИЛАКТИКА

STRUCTURE OF APPOINTMENT TO AN OUTPATIENT SURGEON FOR FOOT AND NAILS DISEASES AND THEIR PREVENTION

E. Zlobina

Summary. The article assesses the prevalence of foot and nail pathology in the practice of an outpatient surgeon, lists and structures the main risk factors, and developed a memo for the care of feet and nails, which will help keep them healthy without resorting to a surgeon for help.

Keywords: ingrown nail, onychocriprotopsis, conservative treatment, surgery.

Злобина Екатерина Александровна

Аспирант, Южно-Уральский государственный
медицинский университет
fluchi@mail.ru

Аннотация. В статье проведена оценка распространенности патологии стоп и ногтей в практике амбулаторного хирурга, приведены и структурированы основные факторы риска, а также разработана памятка по уходу за стопами и ногтями, которая поможет сохранить их здоровыми, не обращаясь за помощью к хирургу.

Ключевые слова: вросший ноготь, онихокриптоз, консервативное лечение, хирургия.

Заболевания стоп и ногтей достаточно распространены в практике амбулаторного хирурга в России. Они, чаще всего, требуют длительного наблюдения хирурга и тщательного соблюдения рекомендаций пациентами. Однако, специальность врач-подолог, врач-подиатр в России, как и во многих других странах, не сертифицирована. Иными словами, таких специалистов не существует. Таким образом, заболеваниями стоп занимаются хирурги и дерматологи [1].

Основываясь на моем собственном опыте и опыте коллег моего ЛПУ их структура такова:

**Из данного списка исключены патологии опорно-двигательного аппарата стопы такие как вальгусная деформация стоп, диабетическая остеоартропатия, находящиеся в поле зрения ортопедов-травматологов.*

Онихокриптоз — 35%

Паронихия — 20%

Онихомикоз — 20%

Твердые мозоли — 5%

Онихогрифоз — 5%

Другие — 5%

Мы можем видеть, что экстренного вмешательства врача-хирурга требует только 55% из них, это онихо-

криптоз и паронихия, которые при бездействии грозят распространением процесса.

1. Онихокриптоз или вросший ноготь — одно из самых распространенных заболеваний ногтей, заключающееся во врастании ногтевой пластины в боковой край латерального или медиального валиков, и, как следствие, развитие воспаления в этой области.

Патологический процесс напрямую связан с образом жизни пациента:

- ◆ ношение узкой обуви и неверно подобранной по размеру обуви,
- ◆ постоянное ношение утягивающих чулок,
- ◆ ношение спортивной обуви, не учитывающей анатомические особенности стоп
- ◆ постоянное ношение одной и той же обуви работниками производств
- ◆ неправильная стрижка ногтей
- ◆ некачественный педикюр и педикюр с покрытием ногтей гель-лаком
- ◆ лишний вес
- ◆ анатомические особенности ногтя и ногтевых валиков.

Пациенты чаще обращаются в периоде обострения, когда показано оперативное лечение в объеме тоталь-

ного удаления ногтевой пластины, ее резекции и различных вариантов пластики валиков.

Таким образом, от развития данного патологического процесса и оперативного лечения, пациента может спасти беседа со специалистом, который поможет в подборе обуви и обучит правильной стрижке ногтей, с учетом анатомических особенностей.

2. Паронихия, или околоногтевой панариций — нагноение в области околоногтевых валиков [2].

Существует несколько причин развития данного заболевания:

- ◆ ссадины, царапины, укусы животных в области околоногтевых валиков
- ◆ неправильная стрижка ногтей и удаление огрубевшей кожи
- ◆ заболевания обмена веществ, влияющие на процесс заживления в тканях
- ◆ иммунодефицитные состояния

В остром периоде лечение заключается в оперативном лечении — вскрытии абсцесса. Профилактировать данный патологический процесс и избежать операции несложно — требуется соблюдение правил техники стрижки ногтей и тщательный домашний уход за ногтями и кожей.

3. Онихомикоз — грибковая инфекция ногтей. Данное заболевание не относится к жизнеугрожающим состояниям и не доставляют особого дискомфорта пациентам [3,4].

Но в связи с тем, что:

- ◆ заболевание чаще поражает пожилых пациентов,
- ◆ процесс имеет низкую тенденцию к излечению,
- ◆ требует длительного приема препаратов,

многие пациенты лечатся самостоятельно и обращаются к хирургу только при стойком косметическом дефекте для тотального удаления ногтевой пластины.

Профилактика состоит в:

- ◆ соблюдении правил личной гигиены
- ◆ тщательном домашнем уходе за стопами
- ◆ ношение личной обуви и использование индивидуальных ножниц, мочалки, пемзы
- ◆ отказе от посещения непроверенных бассейнов, бань, саун
- ◆ обращении за лечением к дерматологу при появлении первых симптомов заболевания.

Отсутствие должного лечения может привести к:

- ◆ заражению родственников
- ◆ переходу процесса с ногтей на кожу
- ◆ осложнению хронических заболеваний

Таким образом, рациональнее обратиться за помощью к врачу-дерматолога для консервативного лечения, чем обращаться за удалением ногтя к хирургу.

4. Твердые мозоли, в том числе стержневые — это локально ороговевший участок эпидермиса, возникающий в местах постоянного давления или трения. Сами по себе мозоли опасности для жизни не представляют и не вызывают болевых ощущений, исключая стержневые мозоли, уходящие в глубину и затрагивающие чувствительные нервные окончания.

Сложно сказать, по какой причине данные пациенты обращаются к хирургу, ведь это плановая проблема и оперативное лечение в данном случае не показано. Соблюдая несколько простых правил, можно постараться ее избежать:

- ◆ необходимо подбирать обувь по размеру и ширине
- ◆ тщательно ухаживать за стопами в домашних условиях
- ◆ производить регулярный осмотр личной обуви на предмет пригодности к носке

Иными словами, лечение у хирурга таким пациентам не показано.

5. Онихогрифоз — деформация и утолщение ногтя, в результате которых, ноготь приобретает вид когтя хищной птицы. С возрастом вектор роста ногтя меняется, он перестает расти в длину и резко утолщается. Эта патология требует тщательного домашнего ухода за ногтями, в том числе со стороны родственников. При невозможности делать это самостоятельно, необходимо обратиться за помощью к мастеру по медицинскому педикюру [5,7]. Оперативное лечение таким пациентам не требуется.

Основываясь на собственном опыте и наблюдениях, была составлена памятка по уходу за стопами и ногтями, которая поможет сохранить здоровье ваших ног [6].

1. Уход за вашими стопами — ваша задача. Необходимо ежедневно тщательно мыть ноги с мылом и протирать насухо чистым полотенцем, а лучше одноразовыми бумажными салфетками. Это поможет коже быстрее слущиваться и оставаться мягкой.
2. Давно ли вы смотрели на свои стопы? Нужно проводить ежедневный осмотр на наличие трещин, ссадин и других повреждений. Что бы наличие вросших ногтей, грибка и мозолей не стало для вас неожиданностью. Первыми симптомами заболевания могут быть изменения цвета и фор-

мы ногтей, ломкость, слоистость, потеря блеска, появление неприятного запаха ног.

3. Стричь ногти прямо. Ногти на I пальцах стоп необходимо стричь прямо, параллельно краю дистального валика, углы не должны «тонуть» и впиваться в мягкие ткани — это приведет к вращению.
4. Подобрать обувь по размеру. Определить размер своей обуви не сложно — нужно встать на лист бумаги и обвести ногу по контуру. Если вы сравните этот силуэт со стельками своей обуви, скорее всего заметите явное несоответствие. Мы все склонны носить обувь меньшего размера, подбирая не по наиболее выступающему пальцу, а по I пальцу стопы, что не верно. Обувь так же не должна быть узкой, всем пальцам должно хватать места. Что бы проверить попробуйте пошевелить пальцами в обувь, расправить их. Если у вас получилось, вы правильно ее подобрали.
5. Выбросить старую обувь. Необходимо осмотреть всю старую обувь на наличие камешков, заломов, замятых стелек, которые могут создавать дополнительное давление на ногу.
6. Постоянное ношение капроновых колготок и маленьких по размеру носков так же плохо сказывается на микроциркуляции стоп. Первыми симптомами могут стать судороги в пальцах стоп и ноющие боли.
7. Если вам приходится посещать общественные бассейны, бани и сауны используйте только личную обувь и хорошо промывайте, и дезинфицируйте ее после.
8. Делать педикюр/подстригать ногти необходимо не реже 1 раза в 3–4 недели, в зависимости от скорости роста ногтей. Рекомендовано предварительно сделать теплую содо-солевую ванночку, подстричь ногти, сделать легкий массаж с использованием жирного крема или массажного масла и надеть чистые хлопчатобумажные носки.
9. Если вы заметили какие-либо изменения со стороны ногтей и кожи стоп необходимо показаться врачу-дерматологу, который умеет решать большинство ваших проблем. При необходимости он посоветует вам обратиться к смежному специалисту, в том числе хирургу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Löser CR, Nenoff P, Mainusch O, Dippel E, Balakirski G. Common diseases of the nail: Diagnosis and therapy. *J Dtsch Dermatol Ges.* 2021 Dec;19(12):1761–1775. doi: 10.1111/ddg.14627. Epub 2021 Dec 4. PMID: 34862725.
2. Macneal P, Milroy C. Paronychia Drainage. 2021 Jun 15. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 32644572.
3. Hoy NY, Leung AK, Metelitsa AI, Adams S. New concepts in median nail dystrophy, onychomycosis, and hand, foot, and mouth disease nail pathology. *ISRN Dermatol.* 2012;2012:680163. doi: 10.5402/2012/680163. Epub 2012 Jan 26. PMID: 22462009; PMCID: PMC3302018.
4. Leung AKC, Lam JM, Leong KF, Hon KL, Barankin B, Leung AAM, Wong AHC. Onychomycosis: An Updated Review. *Recent Pat Inflamm Allergy Drug Discov.* 2020;14(1):32–45. doi: 10.2174/1872213X13666191026090713. PMID: 31738146; PMCID: PMC7509699.
5. Rodríguez-Sanz, David, Natalia Tovaruela-Carrión, Daniel López-López, Patricia Palomo-López, Carlos Romero-Morales, Emmanuel Navarro-Flores and César Calvo-Lobo. "Foot disorders in the elderly: A mini-review." *Disease-a-month: DM* 64 3 (2018): 64–91.
6. Biedermann A, Beate E, Monika E, Gabriele S, Bomba A, Abdollah-Zadeh YB, Peter MR, Kröger K; Deutscher Verband für Podologie (ZFD) e.V. A questionnaire survey study on nail disease prevalence in patients under podologic foot care. *Vasa.* 2021 Nov;50(6):481–482. doi: 10.1024/0301–1526/a000967. PMID: 34743587.
7. Taylor-Thompson K, Budde-Lang J, Carpenter J. Common and Best Nail Practices Among Nail Care Providers: A Descriptive Study. *J Wound Ostomy Continence Nurs.* 2021 Sep-Oct 01;48(5):447–452. doi: 10.1097/WON.0000000000000804. PMID: 34495937.

© Злобина Екатерина Александровна (fluchi@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ ТРУБНО-ПЕРИТОНЕАЛЬНОГО БЕСПЛОДИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИММУНОМОДУЛИРУЮЩЕЙ ТЕРАПИИ

EFFECTIVENESS OF COMPLEX TREATMENT OF TUBE-PERITONEAL INFERTILITY WITH THE USE OF IMMUNOMODULATORY THERAPY

*T. Ivanova
M. Kogan
Yu. Nechaeva
I. Petushkov*

Summary. This article is devoted to the study of the problem of female infertility, in particular, the effectiveness of treatment of tube-peritoneal infertility with the use of immunomodulatory therapy.

Keywords: infertility, tube-peritoneal infertility, immunomodulating therapy, pregnancy, laparoscopy.

Иванова Таисия Алексеевна

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь
tasya1608tas@mail.ru

Коган Михаил Яковлевич

Заслуженный врач РФ, ГБУЗ «Областной Родильный Дом», г. Тверь

Нечаева Юлия Станиславовна

Ассистент, ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь

Петушков Иван Леонидович

ФГАО ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова
Министерства здравоохранения РФ, г. Москва

Аннотация. Данная статья посвящена изучению проблемы женского бесплодия, в частности, эффективности лечения трубно-перитонеального бесплодия с применением иммуномодулирующей терапии.

Ключевые слова: бесплодие, трубно-перитонеальное бесплодие, иммуномодулирующая терапия, беременность, лапароскопия.

Введение

Воспроизводство здорового потомства является главной биологической задачей человечества. Проблема женского бесплодия остается одной из самых актуальных не только в России, но и в мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 5% популяции бесплодны по генетическим, эндокринным и иммунологическим причинам. В нашей стране примерно 15% пар имеют проблемы с репродукцией. 50–55% случаев отсутствия беременности связаны с женским фактором, на трубно-перитонеальное бесплодие приходится 25%. Схемы лечения хронического сальпингита и оофорита — заболеваний, приводящих к данному виду бесплодия, до сих пор являются поводом для дискуссий врачей по всему миру. В настоящее время наибольшее внимание приковано к иммуномодулирующему компоненту терапии, его эффективности и оправданности использования.

Цель исследования

Оценить эффективность лечения трубно-перитонеального бесплодия с применением иммуномодуляторов, сравнить полученные результаты с данными литературы, в которых проанализирована эффективность классических схем терапии данного вида бесплодия.

Материалы и методы

Исследование проводилось на основе базы данных Родильного дома № 4 г. Тверь. Ретроспективно методом прицельной выборки изучено 97 протоколов лапароскопических операций женщин, проходивших плановое стационарное лечение с клиническим диагнозом «Женское бесплодие трубно-перитонеального происхождения. Хронический сальпингит и оофорит» в период с 2008 по 2014 год. Возраст пациенток варьировался от 22 до 39 лет. Средний возраст составил 28,6 лет.

Результаты

В стационаре проводилась активная иммуномодулирующая (после согласования с врачебной комиссией), противовоспалительная и антибактериальная терапия в сочетании с физиопроцедурами. «Пирогенал» дробно с целью «опсонизации» внутримышечно. Эмпирическая антибактериальная терапия: цефтриаксон 2.0г в 40.0мл 0,9% раствора хлорида натрия внутривенно струйно N.10; метронидазол 500мг/100мл внутривенно капельно N.5. Нистатин 500 000ЕД в форме суппозитория в вагинально N.10; Азитромицин 1000мг внутрь в 1, 7 и 14 дни лечения. Хлоропирамина гидрохлорид 25мг внутрь 1 раз в сутки N.10. Также, если по результатам бактериологического и ПЦР исследований обнаруживались специфические возбудители, проводился повторный курс антибиотикотерапии с учетом чувствительности возбудителя.

После консервативного лечения в плановом порядке пациенткам проведена лапароскопия. Диагностический этап оперативного вмешательства позволил, на основании лапароскопического диагноза, разделить пациенток на группы: I группа — Хронический сальпингит и оофорит (n=12); II группа — Хронический сальпингит и оофорит. СПКЯ вторичный (n=58); III группа — Хронический сальпингит и оофорит. Тазовые перитонеальные спайки (n=13); IV группа — Хронический сальпингит и оофорит. СПКЯ вторичный. Тазовые перитонеальные спайки (n=14).

При оценке проходимости маточных труб выяснилось, что у 72,2% пациенток они проходимы, у 27,8% — непроходимы. Важно отметить, что у 21,4% женщин, с наступившей беременностью, наблюдалась непроходимость маточных труб (у 68,75% наблюдалась непроходимость правой маточной трубы, у 25% — левой маточной трубы; у 6,25% — непроходимость обеих маточных труб).

В ходе лечебного этапа операции 100% женщин была выполнена электрокаутеризация и биопсия яичников. Части пациенток потребовалось проведение дополнительных манипуляций: хромосальпингоскопия — 58,2%; овариосальпинголизис — 19,4%; удаление гидатид маточных труб — 10,2%; адгезиолизис — 9,1%; сальпингостомия — 3,1%. На 3–5 сутки после операции пациентки получили рекомендации по планированию беременности и были выписаны из стационара.

Беременность наступила у 77,3% пациенток, причем 69,4% забеременели в течение первого года с момента проведения операции, из них 44,2% в течение первых 6-ти месяцев. У пациенток I группы беременность наступила в 73,1% случаев; II группы — у 88,6%; III группы — у 53,8%; IV группы — у 71,4%.

«Пирогенал» — липополисахарид, образующийся в процессе жизнедеятельности *Salmonella typhi*. Препарат является активным иммуномодулятором, который, связываясь с толл-подобными рецепторами (TLR4) иммунокомпетентной клетки, усиливает секрецию провоспалительных цитокинов, хемокинов факторов роста, продукцию IFN β , IFN γ , увеличивает экспрессию молекул адгезии лейкоцитов, активирует систему комплимента, стимулирует фагоцитоз [1,2,3].

Данные процессы и определяют эффекты препарата: он оказывает антибактериальное, противовирусное действие, активирует иммунный ответ и стимулирует процессы регенерации. Основная задача «Пирогенала» в лечении трубно-перитонеального бесплодия — выведение воспалительного процесса в активную фазу, для того чтобы, на данном этапе, провести антибиотикотерапию. При комплексном лечении препарат не дает перейти воспалению в хроническую форму, следовательно, предотвращает развитие спаечного процесса в малом тазу [4,5,6,7].

В литературе представлен ряд исследований об эффективности массивной антибиотикотерапии при лечении женского бесплодия, связанного с трубно-перитонеальным фактором. Результаты показывают, что беременность наступила лишь у 38–44% пациенток с диагнозом «Женское бесплодие трубно-перитонеального происхождения. Хронический сальпингит и оофорит», что составило меньше половины от всех исходов, причем в течение первого года после лечения частота наступления беременности составила 13–15% [8,9,10].

Выводы

В результате комплексного лечения с применением активной иммуномодулирующей терапии, беременность у пациенток с клиническим диагнозом «Женское бесплодие трубно-перитонеального происхождения. Хронический сальпингит и оофорит» наступила в 77,3% случаев, что является статистически значимым показателем для данной выборки ($p < 0,05$) и отражает высокую эффективность проведенной терапии. «Пирогенал» оказывает антибактериальное, противовирусное действие, активирует иммунный ответ и стимулирует процессы регенерации, чем и доказывает обоснованность его применения в ежедневной практике врача-гинеколога. Опираясь на полученные результаты, можно говорить о значимом влиянии активной иммунотерапии на исход лечения женского бесплодия трубного происхождения, так как, по данным литературы, при классической схеме лечения процент наступления беременности в течение года варьировался от 38 до 44%, а в течение первого года после терапии беременность наступала в 13–15% случаев [11,12,13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспаров А.С., Дубинская Е.Д. Тазовые перитонеальные спайки: этиология, патогенез, диагностика, профилактика. М.: Медицинское информационное агентство, 2013. / Gasparov A.S., Dubinskaja E.D. Tazovye peritoneal'nye spaiiki: etiologija, patogenez, diagnostika, profilaktika. M.: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo, 2013. [in Russian]
2. Довлетханова, Э.Р. Возможность применения иммуномодуляторов в комплексном лечении ВЗОМТ / Э.Р. Довлетханова // Медицинский совет.— 2012.— № 12.— С. 84–87.— EDN PUIQNR.
3. Лечение воспалительных заболеваний органов малого таза, обусловленных микст-инфекцией / О.В. Ромащенко, С.В. Возиянова, А.В. Руденко, Л.Ф. Яковенко // Здоровье женщины.— 2016.— № 6(112).— С. 134.— EDN WIQZUD.
4. Джайиоба, О. Рекомендации по лечению воспалительных заболеваний органов малого таза / О. Джайиоба, Г. Лезенби, Д.Е. Сопер // Акушерство и гинекология. Новости. Мнения. Обучение.— 2013.— № 1(1).— С. 43–54.— EDN WFLNBR.
5. Уракова, Н.А. Иммуноterapia как способ повышения эффективности комплексного лечения воспалительных заболеваний органов малого таза / Н.А. Уракова, Т.В. Ипатова // РМЖ. Мать и дитя.— 2018.— Т. 1.— № 2.— С. 120–123.— EDN YWTVZB.
6. Pathogenesis, consequences, and control of peritoneal adhesions in gynecologic surgery. The Practice Committee of the American Society for Reproductive Medicine in collaboration with the Society of Reproductive Surgeons. *Fertil Steril* 2013; 99 (6): 1550–5.
7. Mutsaers SE, Prêle CM, Pengelly S et al. Mesothelial cells and peritoneal homeostasis. *Fertil Steril* 2016; 106 (5): 1018–24.
8. Arung W, Drion P, Cheramy JP et al. Intraperitoneal adhesions after open or laparoscopic abdominal procedure: an experimental study in the rat. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2012; 22: 651–7.
9. Rocca A, Aprea G, Surfaro G et al. Prevention and treatment of peritoneal adhesions in patients affected by vascular diseases following surgery: a review of the literature. *Open Med (Wars)* 2016; 11 (1): 106–14.
10. Ten Broek RP, Stommel MW, Strik C et al. Benefits and harms of adhesion barriers for abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 2014; 383: 48–59.
11. Sulima A, Davydova A, Litvinov V. Proinflammatory cytokines TNF- α and IL-1 in pelvic peritoneal adhesions of various etiology at reproductive age women. 32nd Annual Meeting of ESHRE. Helsinki, July 3rd — 6th, 2016. v. 31 (Suppl. 1). Helsinki, 2016; p. 463–4.
12. Gornall V, Koninckx PR. Microsurgical principles and postoperative adhesions: lessons from the past. *Fertil Steril* 2016; 106 (5): 1025–31.
13. The American Fertility Society classification of adnexal adhesions, distal tubal occlusion, tubal occlusion secondary to tubal ligation, tubal pregnancies, Mullerian anomalies and intrauterine adhesions. *Fertil Steril* 1988; 49: 944–55.

© Иванова Таисия Алексеевна (tasya1608tas@mail.ru), Коган Михаил Яковлевич,
Петушков Иван Леонидович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КОМОРБИДНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ У БОЛЬНЫХ С ГНОЙНО-ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ

COMORBID DISEASES IN PATIENTS WITH PURULENT-SURGICAL PATHOLOGY

**V. Karpin
O. Shuvalova
V. Sokolov**

Summary. The aim of the work is to assess the prevalence of comorbid diseases in patients with purulent–surgical pathology in the urbanized North on the example of Surgut. Methods. The structure of comorbid pathology was determined with a continuous retrospective sample of 822 case histories of patients undergoing treatment in the purulent-surgical department. Results. The prevalence of comorbid pathology was 57% (n = 471). The increase in the number of patients with multiple pathology correlated with age. In young patients under 44 years of age, the prevalence of comorbid pathology was 21.4%, in middle age — 74%, and in the elderly — already 95% (p = 0.000). Young men predominated among patients with isolated surgical pathology (76%, p = 0.000). Significantly predominant comorbid diseases were identified: hypertension — 42%; diabetes mellitus — 38%; hepatitis — 26%; coronary heart disease — 16%; HIV — 15%. In patients under the age of 44 (n = 216), viral hepatitis C (20%) and HIV infection (15%) were more often associated with purulent processes. At the age of 44–60 years (n = 152), type 2 diabetes mellitus (41%) and hypertension (31%) were most often registered. Type 2 diabetes mellitus (86%), coronary heart disease (75%) and hypertension (73%) were detected in patients aged over 60 years (n = 103). In our opinion, the Mary Charlson index most fully covers the entire structure of comorbid therapeutic pathology in the department of purulent surgery and allows us to take into account the age correction that is extremely necessary in this group of patients. Conclusions. The study of the structure and prevalence of comorbid pathology makes it possible to use a systematic approach in assessing the patient's prognosis and planning the work of the purulent department in the conditions of special specificity of the Northern region.

Keywords: purulent-surgical pathology, comorbid diseases, prevalence and structure.

Карпин Владимир Александрович
Д.мед.н., д.филос.н., профессор
Сургутский государственный университет
kafter57@mail.ru

Шувалова Ольга Ивановна
Кандидат медицинских наук, Сургутский
государственный университет
shuvalova78@mail.ru

Соколов Владислав Денисович
Медицинская академия Крымского федерального
университета
sokolovvlad77@mail.ru

Аннотация. Цель работы — оценить распространенность коморбидных заболеваний у пациентов с гнойно-хирургической патологией на урбанизированном Севере на примере г. Сургута. Методы. Определена структура коморбидной патологии при сплошной ретроспективной выборке 822 историй болезни пациентов, находящихся на лечении в гнойно-хирургическом отделении. Результаты. Распространенность коморбидной патологии составила 57% (n = 471). Рост числа больных с множественной патологией коррелировал с возрастом. У молодых пациентов до 44 лет распространенность коморбидной патологии составила 21,4%, в среднем возрасте — 74%, а в пожилом — уже 95% (p = 0,000). Среди пациентов с изолированной хирургической патологией преобладали мужчины молодого возраста (76%, p = 0,000). Выявлены достоверно преобладающие коморбидные заболевания: гипертоническая болезнь — 42%; сахарный диабет — 38%; гепатиты — 26%; ишемическая болезнь сердца — 16%; ВИЧ — 15%. У пациентов в возрасте до 44 лет (n = 216) чаще с гнойными процессами ассоциировался вирусный гепатит С (20%) и ВИЧ-инфекция (15%). В возрасте 44–60 лет (n = 152) наиболее часто зарегистрированы сахарный диабет 2 типа (41%) и гипертоническая болезнь (31%). У больных в возрасте старше 60 лет (n = 103) выявлен сахарный диабет 2 типа (86%), ишемическая болезнь сердца (75%) и гипертоническая болезнь (73%). По нашему мнению, индекс Mary Charlson наиболее полно охватывает всю структуру коморбидной терапевтической патологии в отделении гнойной хирургии и позволяет учитывать крайне необходимую в данной группе больных поправку на возраст. Выводы. Изучение структуры и распространенности коморбидной патологии позволяет использовать системный подход в оценке прогнозов больного и планирования работы гнойного отделения в условиях особой специфики Северного региона.

Ключевые слова: гнойно-хирургическая патология, коморбидные заболевания, распространенность и структура.

Актуальность

Неуклонный интерес медицинского сообщества к проблемам коморбидности связан с ее чрезвычайно высокой распространенностью. По современным данным зарубежных и отечественных ученых, у взрослого населения коморбидность достигает 98% у пациентов старше 65 лет и характеризуется постоянным ростом. Терапевтические аспекты ведения коморбидного пациента связаны с изменением клинической картины заболеваний, существенным утяжелением диагностического процесса, полипрагмазией, увеличением экономических затрат и ухудшением прогноза больного [1], [2], [3], [10].

В хирургическом стационаре заболевания внутренних органов способны значительно изменить течение послеоперационного периода независимо от метода анестезии, объема и вида оперативного вмешательства. Достаточно часто хирургическая патология является следствием или крайним проявлением хронической патологии внутренних органов, что требует системного анализа имеющихся у больного этиологических и патогенетических связей коморбидности.

По данным литературы в отделениях хирургического профиля на долю коморбидности приходится более 50% случаев. Это прямо или косвенно снижает общую эффективность работы хирургического стационара, поскольку увеличивает среднюю длительность госпитализации, число осложнений после хирургических вмешательств, приводит к уменьшению оперативной активности, росту общих затрат на лечение и усложняет проведение реабилитации. Ведение множества тяжелых полиморбидных пациентов требует наличия в штате лечебного учреждения врачей самых разных специальностей и высокого уровня интеграции профессиональных компетенций [5], [8], [12].

В странах с активно проводимой программой увеличения продолжительности жизни актуальность множественности заболеваний неразрывно связана с проблемами геронтологии. У лиц пожилого возраста нозологии, составляющие коморбидность, включают сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), в том числе артериальную гипертензию (АГ) и различные формы ИБС в более чем 80% случаев [4], [14], [15].

По данным А.Л. Вёрткина, в результате анализа 3500 аутопсий больных, экстренно поступивших в стационар скорой медицинской помощи при декомпенсации хронических заболеваний, коморбидная патология выявлена в 94,2% наблюдений. При этом большинство пациентов с множественной патологией находилось в возрасте старше 65 лет. Сердечно-сосудистые заболе-

вания, в том числе ГБ и различные формы ИБС, зарегистрированы соответственно в 80% и 79% наблюдений [2].

Вслед за американскими и европейскими коллегами Всероссийское научное общество кардиологов (ВНОК) активно занимается вопросами прогнозирования и профилактики кардиальных осложнений при различных внесердечных хирургических вмешательствах, что обусловлено необходимостью заострить внимание врачей различных специальностей на данной повсеместной проблеме [7], [14].

Известно множество путей формирования коморбидности: снижение иммунитета, гормональные и метаболические нарушения, оксидативный стресс, воспаление, эндотелиальная дисфункция, усиление апоптоза и другие мощные, дестабилизирующие работу организма, факторы. В условиях формирования гнойного воспаления многие из этих механизмов достигают апогея, создавая «порочные круги» и определяя сложность лечения больных. Ситуация утяжеляется также при проживании на Севере, в условиях дополнительного неблагоприятного воздействия климатических, гелиогеомагнитных и техногенных факторов [6].

Изучая наиболее распространенные и социально-значимые заболевания Северного региона, мы не могли оставить без внимания ВИЧ-инфекцию. По темпам роста заболеваемости Российская Федерация является одним из мировых лидеров, обогнав по абсолютному числу смертей по данной причине США и Бразилию, численность населения которых превышает российскую. В среднем число смертей от ВИЧ в последние годы растет на 20% ежегодно. В 2016 г. ВИЧ обуславливал около 53% всех смертей от инфекционных и паразитарных заболеваний, включая туберкулез и гепатиты, и 1% от всех смертей вообще. По состоянию на январь 2017 г. число живущих в нашей стране ВИЧ-инфицированных, по официальным данным, составило 594,3 на 100 000 человек, т.е. около 0,6% всего населения России, включая детей и стариков. Однако концентрация больных существенно отличается по регионам и в разных возрастных группах. По официальным данным, пораженность инфекцией в Иркутской, Свердловской и Кемеровской областях превышает 1,5% всего населения, т.е. почти втрое превосходит среднероссийский уровень. Еще в 7 регионах России распространенность ВИЧ превышает 1% — традиционно в число «лидеров» наряду с Новосибирской, Ленинградской, Челябинской областями входит и Ханты-Мансийский автономный округ. По данным информационных справок «ВИЧ-инфекция в Российской Федерации» федерального научно-методического центра по профилактике и борьбе со СПИДом показатель первичной

Таблица 1. Структура коморбидной патологии у больных отделения гнойной хирургии

Коморбидная патология	Абс. значения, n	%
Гипертоническая болезнь	202	42,8
Сахарный диабет	179	38,0
Гепатит	123	26,1
ИБС	75	15,9
ВИЧ	71	15,1
Гастриты, язвенная болезнь желудка и ДПК	28	5,9
Аритмии	16	3,4
Цереброваскулярные заболевания	14	2,9
Облитерирующий атеросклероз	13	2,7
Онкологические заболевания	12	2,5
ХНЗЛ	8	1,7
Нефриты	6	1,3
Пневмония	6	1,3
Цирроз печени	3	0,6
Туберкулез легких	3	0,6
Аутоиммунный тиреоидит	3	0,6

заболеваемости ВИЧ-инфекцией несовершеннолетних с 2010 г. имеет устойчивую тенденцию к росту в Северо-Западном, Приволжском, Уральском и Сибирском федеральных округах, тогда как в остальных, напротив, сократился [8], [15]. Таким образом, в северных регионах России сохраняется наиболее тревожная ситуация по ВИЧ-инфекции.

Понимание особенностей структуры коморбидной патологии необходимо не только для оптимизации лечения данной категории больных, но и для прогнозирования летальности. Стремление работать в русле доказательной медицины определяет потребность практического врача в простом и надежном методе «измерения» коморбидности. Индекс Kaplan Feinstein, шкала хронических заболеваний CDS (Chronic Disease Score), индекс сосуществующих болезней ICED (Index of Co-Existent Disease), индекс GIC (Geriatric Index of Comorbidity), система ACG (Adjusted Clinical Groups), система CIRS или CIR (Cumulative Illness Rating Scale) и другие способы оценки полиморбидности широко применяются в медицинском сообществе [11], [12], [13].

Методы

В ходе исследования был проведен ретроспективный анализ сплошной выборки 822 историй болезни пациентов, находящихся на лечении в гнойно-хирургическом отделении НУЗ «Отделенческая клиническая больница на ст. Сургут» ОАО «РЖД».

Распределение по возрасту проводили согласно критериям ВОЗ от 1999 г.: от 25 до 44 лет — молодой возраст, 44–60 лет — средний возраст, 60–75 лет — по-

жилой возраст, 75–90 лет — старческий возраст, после 90 — долгожители.

Для статистической обработки использовали методы описательной статистики программ Microsoft EXEL и STATISTICA version 6.0. Тип распределения для выборок определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Параметры с ненормальным распределением представляли как медиану, а в качестве мер рассеивания использовали 25 и 75 процентиля. Статистический анализ проводили с применением непараметрического критерия Манна-Уитни (U) и критерия углового распределения Фишера для оценки статистической значимости между процентными долями двух выборок. Критический уровень значимости p принимался равным 0,05.

Результаты

Анализ структуры заболеваемости в единственном в городе Сургуте гнойно-хирургическом отделении показал, что распространенность коморбидной патологии составила в 2018 г. 57,3% ($n = 471$). Закономерно ожидаемый рост числа больных с множественной патологией коррелировал с возрастом. У молодых пациентов до 44 лет распространенность коморбидной патологии составила 21,4%, в среднем возрасте — 74,3%, а в пожилом — уже 95% ($p = 0,000$).

Среди пациентов с изолированной хирургической патологией преобладали мужчины молодого возраста (76,2%, $p = 0,000$). Госпитализированные женщины (23,8%) в возрасте до 44 лет находились на лечении преимущественно по поводу воспалительных заболеваний малого таза и послеродовых маститов и не име-

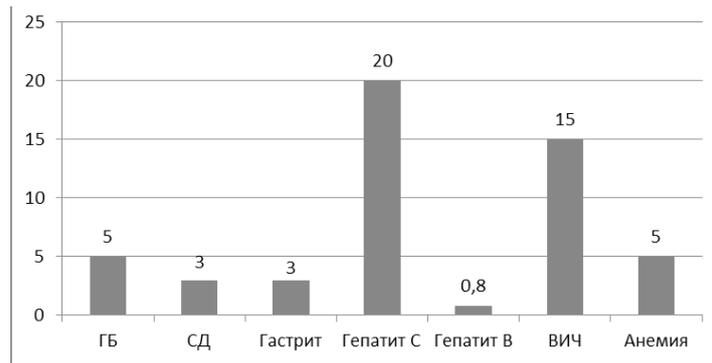


Рис. 1. Распространенность наиболее часто встречающихся коморбидных заболеваний в возрасте до 44 лет (%). N = 216

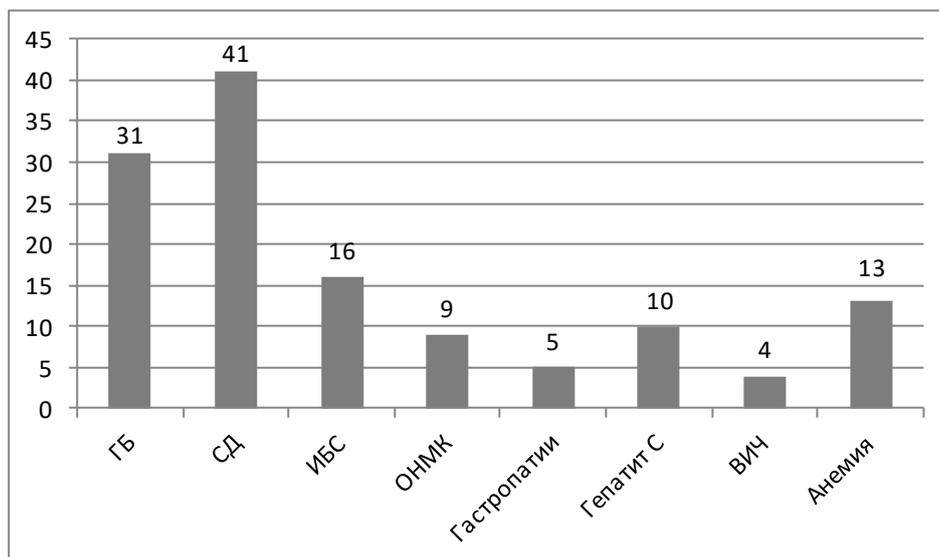


Рис. 2. Распространенность наиболее часто встречающихся коморбидных заболеваний в возрасте 44–60 лет (%). N = 152

ли подтвержденных терапевтических диагнозов. В более старших возрастных группах гендерные отличия по основным заболеваниям в структуре коморбидной патологии оказались недостоверными, за исключением ВИЧ, гепатита и ИБС.

В целом эпидемиология коморбидных нозологий, выявленных у больных с гнойно-хирургическими заболеваниями, представлена более чем 50 шифрами действующей международной классификации болезней. Наиболее часто встречающиеся нозологии и группы болезней представлены в табл. 1.

Самым распространенным диагнозом была гипертоническая болезнь (ГБ), выявленная в 42,8% случаев от общего числа коморбидных больных. Причем частота

встречаемости в определенных возрастных группах существенно отличалась (рис. 1–3), увеличиваясь с возрастом от минимальных значений — 5% у молодых до 73% — в группе пожилых пациентов. В возрастных группах 60–90 лет данная нозология была представлена осложненными формами.

Второй по встречаемости нозологией оказался сахарный диабет 2 типа (СД). Особого внимания заслуживает высокая частота встречаемости диабета не только в группе пожилых больных (86%), но и среди пациентов среднего возраста (41%), значимо отличаясь от 3%-ой распространенности у молодых.

Особую роль в структуре коморбидности у больных отделения гнойной хирургии составляют большие

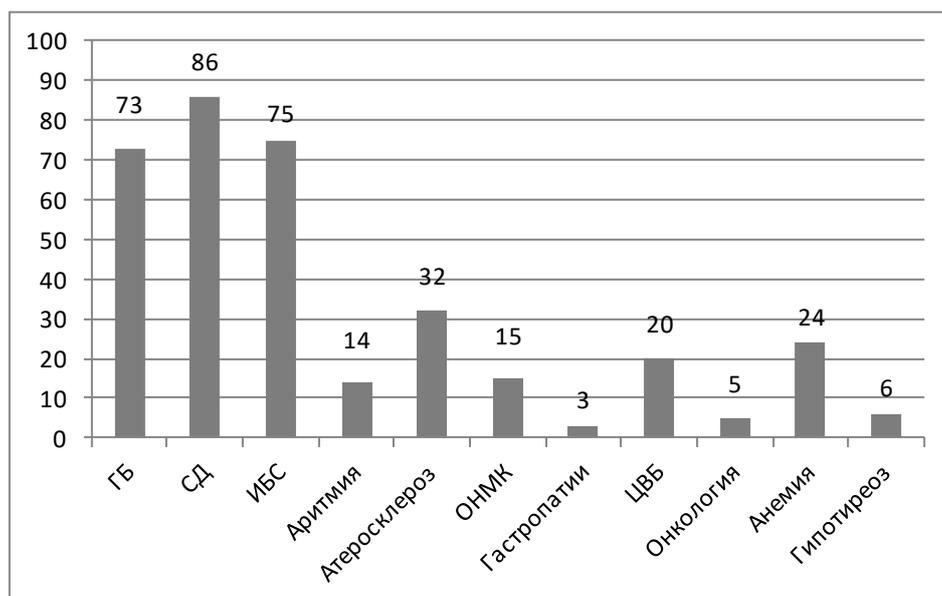


Рис. 3. Распространенность наиболее часто встречающихся коморбидных заболеваний в возрасте старше 60 лет (%). N = 103

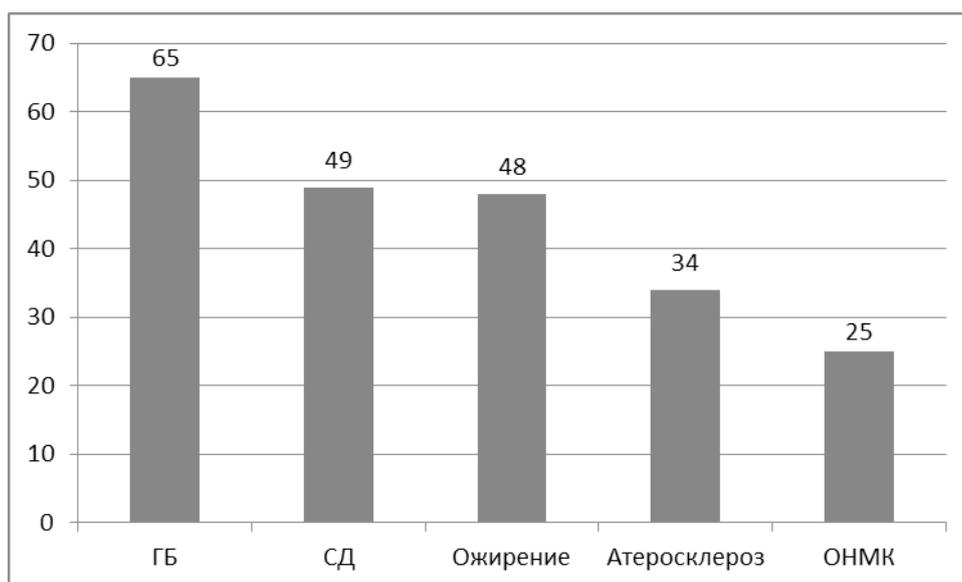


Рис. 4. Распространенность наиболее часто встречающихся заболеваний при ИБС (%). N = 75

с ВИЧ-инфекцией и вирусными гепатитами. Вирусные гепатиты В и/или С выявлены преимущественно в группе молодых пациентов (26,1%), а ВИЧ — в 15,1% случаев. Учитывая общую высокую пораженность ВИЧ в ХМА-О-Югре, расчетная заболеваемость молодых мужчин в возрасте 35–39 лет составляет от 5 до 8%. Значительно большая концентрация ВИЧ-инфицированных в отделении гнойной хирургии объясняется профилем отделения и требует учета этого фактора при расчете

индексов коморбидности и при проведении диагностических и лечебных мероприятий. Существенная часть пациентов с ВИЧ (87,3%) имели сопутствующий вирусный гепатит (n = 62), что также утяжеляет течение гнойных хирургических заболеваний.

Среди лиц пожилого возраста и старше в 75% случаев был выставлен сопутствующий диагноз ИБС. Средний возраст мужчин составил $66 \pm 5,03$ лет, средний

возраст женщин — 72±6,92 лет. В структуре ИБС у пациентов хирургического профиля зарегистрированы постинфарктный кардиосклероз (ПИКС) у 48% больных, немного реже встречались стенокардия, прогрессирующая хроническая сердечная недостаточность (ХСН) и аритмия — 32%, 30% и 28% соответственно ($p = 0,031$). Сложность анализа по данной нозологии связана с отсутствием четких диагностических критериев аритмии у больных хирургического профиля с выраженным гнойно-воспалительным процессом. Так, у части больных в возрасте 60 лет и старше диагноз аритмии включался в раздел ИБС, а у 14% пациентов аритмии шифровались как неуточненные нарушения ритма сердца, а имеющаяся у больного клиника и неспецифические метаболические нарушения по ЭКГ расценивались врачом как проявления интоксикационного синдрома гнойно-воспалительного процесса.

Структура и частота встречаемости сочетанной патологии при ИБС у больных с гнойной хирургической патологией представлена на рис. 4.

Наиболее частым оказалось сочетание ИБС с гипертонической болезнью, сахарным диабетом, что соответствует данным ведущих отечественных и мировых исследований [6], [9], [14].

В ходе исследования выявлена высокая частота встречаемости железодефицитных анемий при поступлении в отделение гнойной хирургии в молодом, среднем и пожилом возрастных диапазонах (5%, 13% и 24% соответственно). Диагноз анемии подтверждался общим анализом и стандартными биохимическими показателями крови, полученными у больных до выполнения оперативных пособий. Интраоперационные потери и период после операций в данном случае не учитывался. В структуре распространенности существенную роль играют также заболевания желудочно-кишечного тракта, почек, щитовидной железы (табл. 1). Обращает на себя внимание рост клинически «стертых», малосимптомных форм, когда диагноз выставлялся не терапевтом первичного звена, а при госпитализации пациента в хирургическое отделение с имеющимися серьезными осложнениями или угрозой жизни больного. Также у больных гнойно-хирургического отделения единично встречались и другие заболевания терапевтического профиля (подагрический артрит, ревматоидный артрит, инфекционный эндокардит, болезнь Крона и другие), однако рас-

пространенность их в данном исследовании составила менее 0,5%. Определив структуру коморбидной патологии и выявив распространенность наиболее значимых заболеваний в гнойно-хирургическом отделении ХМА-О-Югры на примере самого крупного города региона г. Сургута, можно использовать полученные данные для подбора систем оценки коморбидности. Наиболее полно охватывающим всю структуру коморбидной терапевтической патологии в отделении гнойной хирургии нам представляется индекс Mary Charlson (1987). Отдаленный прогноз 10-летней выживаемости определялся суммой баллов по наличию у больного инфаркта миокарда, ЦВБ, болезней периферических артерий, хронических заболеваний легких, болезней соединительной ткани, язвенной болезни, опухолей, ВИЧ, а также дифференцированным подходом в оценке осложнений СД, поражения почек, стадий ХСН и степени поражения печени. Существенным достоинством метода является возможность добавления баллов за каждое десятилетие жизни, учитывая, тем самым, возрастные особенности регенераторных способностей человека.

Заключение

Высокая распространенность коморбидности на территориях урбанизированного Севера требует дальнейшего изучения этиопатогенетических связей, особенностей клиники и диагностики при сочетании у больного двух и более хронических заболеваний. В проведенном исследовании показана высокая распространенность среди больных отделения гнойной хирургии помимо таких «традиционных», входящих в большинство систем оценки прогноза больного, нозологий как ГБ, ИБС, СД, ВИЧ, но и менее учитываемых состояний и факторов риска — анемии, ожирения, атеросклероза. Данные заболевания выявлены не только у пациентов в возрасте 60 и более лет, но и в группе больных молодого и среднего возраста, оптимизация диагностики и лечения которых позволяет надеяться на снижение смертности и улучшение качества жизни. Сохраняется высокая частота встречаемости гепатита С и ВИЧ среди пациентов молодого и среднего возраста, определяя потребность в особом отношении к этой группе больных. Распространенность анемий во всех возрастных группах также достаточно высокая, что неблагоприятно влияет на исход заболевания и существенно увеличивает время, необходимое для восстановления тканей и заживления ран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белялов Ф.И. Лечение внутренних болезней в условиях коморбидности: монография. — Иркутск: РИО ИГМАПО, 2012. — 286 с.
2. Верткин А.Л. Коморбидный пациент. — М.: Эксмо, 2015. — 150 с.
3. Гериатрия: Национальное руководство // Под ред. О.Н. Ткачевой, Е.В. Фроловой, Н.Н. Яхно. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. — 608 с.

4. Драпкина О.М., Самородская И.В., Ларина В.Н. Лукьянов М.М. Вопросы организации помощи пациентам с мультиморбидной патологией: аналитический обзор международных и российских рекомендаций // Профилактическая медицина. — 2019. — № 2. — С. 107–114.
5. Карпин В.А., Катюхин В.Н., Соколов С.В. Течение внутренних болезней в экстремальных условиях Севера // Экология человека. — 2001. — № 1. — С. 10–12.
6. Коморбидная патология в клинической практике. Клинические рекомендации // Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2017; 16(6) URL: <https://cardiovascular.elpub.ru/jour/article/view/712/466> (дата обращения: 11.09.2019)
7. Самородская И.В., Никифорова М.А. Терминология и методы оценки влияния коморбидности на прогноз и исходы лечения // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. — 2013. — № 14(4). — С. 18–26.
8. Шабунова А.А., Калачикова О.Н., Короленко А.В. Обзор мировых и региональных тенденций заболеваемости ВИЧ-инфекцией и обусловленной ей смертности // Социальные аспекты здоровья населения. — 2017. — № 2(54). 9 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29305174> (дата обращения: 11.09.2019)
9. Barnett K., Mercer S.W., Norbury M. et al. Epidemiology of multimorbidity and implications for health care, research, and medical education: a cross-sectional study // Lancet. — 2012. — № 380(9836). — P. 37–43. doi:10.1016/S0140-6736(12)60240-2.
10. Charlson M.E., Pompei P., Ales K.L., MacKenzie C.R. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation // Journal of Chronic Diseases. — 1987. — № 40. — P. 373–383.
11. DuGoff E.H., Canudas-Romo V., Buttorff C. et al. Multiple chronic conditions and life expectancy: a life table analysis // Medical Care. — 2014. — № 52(8). — P. 688–694. doi:10.1097/MLR.000000000000166.
12. Grolla D.L., Tob T., Bombardieri C., Wright J.G. The development of a comorbidity index with physical function as the outcome // Journal of Clinical Epidemiology. — 2005. — № 58 (6). — P. 595–602.
13. Piepoli M.F., Hoes A.W., Agewall S. et al. European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) // European Heart Journal. — 2016. — № 37(29). — P. 2315–2381. doi:10.1093/eurheartj/ehw106.
14. Williams B., Mancia G., Spiering W. et al. Guidelines for the management of arterial hypertension // European Heart Journal. — 2018. — № 39(33). — P. 3021–3104. URL: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
15. World Health Statistics. Geneva, WHO, 2018. URL: https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2018/en/, https://www.who.int/gho/mortality_burden_disease/en/ (дата обращения: 11.09.2019)

© Карпин Владимир Александрович (kafter57@mail.ru),

Шувалова Ольга Ивановна (shuvalova78@mail.ru), Соколов Владислав Денисович (sokolovvlad77@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛЕТочНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ ФИБРОЗА

CELLULAR MECHANISMS OF FIBROSIS DEVELOPMENT

**O. Karutskaya
A. Serdyukova
A. Brizhaneva**

Summary. Myocardial fibrosis, the expansion of the cardiac interstitium through deposition of extracellular matrix proteins, is a common pathophysiologic companion of many different myocardial conditions. Fibrosis may reflect activation of reparative or maladaptive processes. Activated fibroblasts and myofibroblasts are the central cellular effectors in cardiac fibrosis, serving as the main source of matrix proteins. Immune cells, vascular cells and cardiomyocytes may also acquire a fibrogenic phenotype under conditions of stress, activating fibroblast populations. Fibrogenic growth factors (such as transforming growth factor- β and platelet-derived growth factors), cytokines [including tumour necrosis factor- α , interleukin (IL)-1, IL-6, IL-10, and IL-4], and neurohumoral pathways trigger fibrogenic signalling cascades through binding to surface receptors, and activation of downstream signalling cascades. In addition, matricellular macromolecules are deposited in the remodelling myocardium and regulate matrix assembly, while modulating signal transduction cascades and protease or growth factor activity. Cardiac fibroblasts can also sense mechanical stress through mechanosensitive receptors, ion channels and integrins, activating intracellular fibrogenic cascades that contribute to fibrosis in response to pressure overload. Although subpopulations of fibroblast-like cells may exert important protective actions in both reparative and interstitial/perivascular fibrosis, ultimately fibrotic changes perturb systolic and diastolic function, and may play an important role in the pathogenesis of arrhythmias.

Keywords: Fibrosis, growth factor, heart failure, matrix metalloproteinases, chemokines.

Каруцкая Ольга Анатольевна

Аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Сердюкова Анна Викторовна

Аспирант Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Serdukova.an@mail.ru

Брижанева Анастасия Сергеевна

Аспирант Белгородский государственный национальный исследовательский университет
brizhaneva.anastasya@yandex.ru

Аннотация. Миокардиальный фиброз, расширение интерстиция сердца за счет отложения белков внеклеточного матрикса, является распространенным патофизиологическим спутником многих различных заболеваний миокарда. Фиброз может отражать активацию репаративных или дезадаптивных процессов. Активированные фибробласты и миофибробласты являются центральными клеточными активаторами при сердечном фиброзе, выступая в качестве основного источника белков матрикса. Иммуные клетки, клетки сосудов и кардиомиоциты также могут приобретать фиброгенный фенотип в условиях стресса, активируя популяции фибробластов. Фиброгенные факторы роста (такие как трансформирующий фактор роста- β и тромбоцитарные факторы роста), цитокины [включая фактор некроза опухоли- α , интерлейкин (ИЛ)-1, ИЛ-6, ИЛ-10 и ИЛ-4] и нейрогуморальные пути запускают фиброгенные сигнальные каскады посредством связывания с поверхностными рецепторами, и активация нижестоящих сигнальных каскадов. Кроме того, матрицеллюлярные макромолекулы откладываются в ремоделирующем миокарде и регулируют сборку матрикса, в то же время модулируя каскады передачи сигнала и активность протеазы или фактора роста. Сердечные фибробласты также могут ощущать механическое напряжение через механочувствительные рецепторы, ионные каналы и интегрин, активируя внутриклеточные фиброгенные каскады, которые способствуют фиброзу в ответ на перегрузку давлением. Хотя субпопуляции фибробластоподобных клеток могут оказывать важное защитное действие как при репаративном, так и при интерстициальном/периваскулярном фиброзе, в конечном итоге фиброзные изменения нарушают систолическую и диастолическую функции и могут играть важную роль в патогенезе аритмий.

Ключевые слова: фиброз, миофибробласт, фактор роста, сердечная недостаточность, матриксные металлопротеиназы, хемокины.

Миокардиальный фиброз, расширение интерстиция сердца за счет отложения белков внеклеточного матрикса, является распространенным патофизиологическим спутником многих различных заболеваний миокарда. Фиброз может отражать активацию репаративных или дезадаптивных процессов. Активированные фибробласты и миофибробласты являются центральными клеточными ак-

тиваторами при сердечном фиброзе, выступая в качестве основного источника белков матрикса. Иммуные клетки, клетки сосудов и кардиомиоциты также могут приобретать фиброгенный фенотип в условиях стресса, активируя популяции фибробластов. Фиброгенные факторы роста (такие как трансформирующий фактор роста- β и тромбоцитарные факторы роста), цитокины [включая фактор некроза опухоли- α , интерлейкин (ИЛ)-

1, ИЛ-6, ИЛ-10 и ИЛ-4] и нейрогуморальные пути запускают фиброгенные сигнальные каскады посредством связывания с поверхностными рецепторами, и активация нижестоящих сигнальных каскадов. Кроме того, матрицеллюлярные макромолекулы откладываются в ремоделирующем миокарде и регулируют сборку матрикса, в то же время модулируя каскады передачи сигнала и активность протеазы или фактора роста. Сердечные фибробласты также могут ощущать механическое напряжение через механочувствительные рецепторы, ионные каналы и интегрины, активируя внутриклеточные фиброгенные каскады, которые способствуют фиброзу в ответ на перегрузку давлением. Хотя субпопуляции фибробластоподобных клеток могут оказывать важное защитное действие как при репаративном, так и при интерстициальном/периваскулярном фиброзе, в конечном итоге фиброзные изменения нарушают систолическую и диастолическую функции и могут играть важную роль в патогенезе аритмий.

Цель

Изучить молекулярные механизмы, участвующие в патогенезе кардиального фиброза при различных заболеваниях миокарда, включая инфаркт миокарда, сердечную недостаточность со сниженной или сохраненной фракцией выброса, генетические кардиомиопатии и диабетическую болезнь сердца.

Поскольку разработка направленной на фиброз терапии для пациентов с заболеваниями миокарда требует не только понимания функционального плюрализма сердечных фибробластов и анализа молекулярной основы фиброзного ремоделирования, но и оценки патофизиологической гетерогенности фиброз-ассоциированного заболевания миокарда.

Миокардиальный фиброз, расширение сердечного интерстиция из-за чистого накопления белков ЕСМ, сопровождает большинство сердечных патологических состояний. [2,3] Во многих случаях сердечный фиброз носит репаративный характер, отражая замену мертвых кардиомиоцитов рубцом на основе коллагена, например при инфаркте миокарда. При других сердечных заболеваниях фиброз преимущественно поражает интерстиций и развивается незаметно при отсутствии значительной потери кардиомиоцитов. Например, при системной гипертензии, которая связана с прогрессирующим интерстициальным и периваскулярным отложением белков ВКМ, которые увеличивают жесткость миокарда и вызывают диастолическую дисфункцию.

Сердечный фиброз — это не отдельное заболевание, которое предсказуемо выиграет от стандартизированного терапевтического вмешательства, а скорее

патологический ответ, который может быть уместным или неуместным, в зависимости от патофизиологического контекста.

Методы

Обсудить патофизиологическую гетерогенность миокардиальных фиброзных реакций, основное внимание уделяется функциональным последствиям сердечного фиброза, ключевым клеточным эффекторам и основным молекулярным механизмам.

Классификация фиброзных поражений миокарда

Гистопатологический анализ позволяет разделить фиброзные поражения сердца на три различные формы. При ИМ некротические кардиомиоциты замещаются рубцами на основе коллагена, вызывая «заместительный фиброз». «Интерстициальный фиброз» описывает расширение эндомизиального и перимизиального пространства, вызванное суммарным накоплением белков внеклеточного матрикса при отсутствии значительной потери кардиомиоцитов. Термин «периваскулярный фиброз» используется для описания расширения микрососудистой адвентиции. Эта простая и грубая классификация имеет большое значение в отношении патофизиологической основы фиброзного поражения и его влияния на сердечную функцию.

Клеточная биология сердечного фиброза

Активированные фибробласты являются центральными клеточными эффекторами миокардиального фиброза, служащими основными клетками, продуцирующими ВКМ. Активированные миофибробласты являются основным источником структурных белков ВКМ в фиброзном сердце, [4] продуцируют большое количество матрицеллюлярных белков [5,6] и могут также участвовать в регуляции ремоделирования матрикса, продуцируя протеазы, такие как матриксные металлопротеиназы (ММП), и их ингибиторы. [7] Сосудистые эндотелиальные клетки и перicytes также могут секретировать медиаторы, активирующие фибробласты, и претерпевают превращение в миофибробласты. Поврежденные кардиомиоциты также способны продуцировать фиброгенные медиаторы в ответ на стресс, способствуя активации фибробластов.

Термин фибробласт используется для описания клеток мезенхимального происхождения, которые заселяют соединительную ткань, лишены базальной мембраны и способны продуцировать значительное количество белков ВКМ. В соответствии с этим широким определением широкий спектр кардиальных интер-

стициальных клеток может быть идентифицирован как фибробласты. Фибробласты можно отличить от других интерстициальных клеток миокарда на основе экспрессии рецептора 2, содержащего домен дискоидина, PDGFR- α и фактора транскрипции Tcf21. [8]

В эпоху транскриптомики одиночных клеток все больше признается, что как фибробласты, так и миофибробласты представляют собой гетерогенные популяции, состоящие из нескольких подмножеств с различными транскриптомными профилями. При заживлении инфарктов были идентифицированы субпопуляции миофибробластов с высокой экспрессией фиброгенных медиаторов, таких как трансформирующий фактор роста (TGF)- β , наряду с другими миофибробластами, экспрессирующими транскрипты, кодирующие белки с антифибротическими свойствами, такие как матрицеллюлярный ген *Wisp/CCN5* и антагонист *Wnt Sfrp*. [9]

Обильные фибробласты, которые находятся в нормальном кардиальном интерстиции, способны к активации после травмы и это объясняет связанную с травмой экспансию миофибробластов, секретирующих матрикс. Подавляющее большинство активированных миофибробластов как при инфаркте, так и при сердечном фиброзе, вызванном перегрузкой давлением, происходят из резидентных популяций фибробластов.

Механизмы активации миофибробластов при фиброзе сердца

Активированные миофибробласты способствуют ремоделированию матрикса не только за счет секреции большого количества структурных белков ВКМ, но также за счет высвобождения протеаз и их ингибиторов, а также за счет продукции ферментов, участвующих в процессинге матрикса.

Иммунные клетки, включая макрофаги, тучные клетки и лимфоциты, рекрутируются и активируются при ремоделировании сердца и могут играть важную роль в активации фибробластов. Кардиомиоциты также очень чувствительны к изменениям микросреды и обычно реагируют на повреждающие стимулы, активируя воспалительные и фиброгенные программы.

Активирующие фибробласты нейрогуморальные пути.

1. Ренин-ангиотензин-альдостероновая система

Ось ангиотензин II/AT1Ренин-ангиотензин-альдостероновая система активируется в фиброзе и ремоделирующем сердце независимо от лежащей в основе этиологии и играет важную роль в активации миофи-

бробластов. Стрессовые кардиомиоциты, иммунные клетки и фибробласты продуцируют ренин и ангиотензинпревращающий фермент (АПФ), способствуя образованию ангиотензина II поколения [10,11] При высвобождении в интерстиции сердца ангиотензин II является мощным активатором сердечных фибробластов. Ангиотензин II стимулирует пролиферацию сердечных фибробластов, ингибирует апоптоз фибробластов, стимулирует миграцию фибробластов, индуцирует экспрессию интегрина, способствует конверсии миофибробластов, увеличивает синтез структурных белков ВКМ. [12,13]

Активирующие эффекты оси ангиотензин II/AT1 в сердечных фибробластах опосредованы. Например, провоспалительные цитокины могут сделать фибробласты более чувствительными к эффектам ангиотензина II, индуцируя синтез AT1. [14] А ангиотензин II подавляет экспрессию AT1, обеспечивая механизм отрицательной обратной связи, сдерживая неконтролируемые фиброгенные действия. [15]

Сердечные фибробласты могут быть основными мишенями ангиотензина II. Таким образом, положительные эффекты ингибирования АПФ и блокады AT1 у пациентов с сердечной недостаточностью могут отражать, по крайней мере частично, ослабление ангиотензин-опосредованного фиброза.

2. Фиброгенное действие альдостерона

Альдостерон может играть важную роль в активации фибробластов после повреждения миокарда. [16,17] В изолированных сердечных фибробластах альдостерон запускает пролиферативный ответ, стимулирует миграцию, и способствует матриксно-синтетическому фенотипу, частично за счет активации каскадов MAPK. [18]

3. β -адренергический ответ при активации фибробластов

Адренергическая стимуляция активирует фибробласты и вызывает фиброзное ремоделирование сердца. Активация β -AR стимулирует пролиферацию сердечных фибробластов, активирует фосфатидилинозитол-3-киназу (PI-3K) и передачу сигналов MAPK.

Медиаторы воспаления как регуляторы функции фибробластов

Воспалительные цитокины, хемокины и факторы роста вовлечены в патогенез сердечного фиброза посредством прямого действия на фибробласты, стимуляции рекрутирования и активации фиброгенных макрофа-

гов и лимфоцитов, и запуска фиброгенной программы в сосудистых клетках и кардиомиоцитах. Кроме того, длительное хроническое воспаление может вызвать некроз кардиомиоцитов, запуская репаративную форму фиброза. [1]

1. Хемокины как регуляторы сердечного фиброза

Хемокины представляют собой хемотаксические цитокины, играющие важную роль в переносе лейкоцитов. Со структурной точки зрения хемокины подразделяются на четыре подсемейства (CC, CXC, CX3C и XC) на основе количества аминокислот между их первыми двумя цистеиновыми остатками. Эта классификация имеет важное функциональное значение: CC-хемокины являются преимущественно хемоаттрактантами мононуклеарных клеток, тогда как CXC-хемокины и, в частности, подгруппа, содержащая консервативный мотив последовательности ELR (глутаминовая кислота-лейцин-аргинин) вблизи аминотерминального конца, участвуют в рекрутировании нейтрофилов. Действия хемокинов в регуляции фиброза преимущественно опосредованы хемотаксическим привлечением лейкоцитов.

2. Провоспалительные цитокины при сердечном фиброзе.

Уровни провоспалительных цитокинов фактора некроза опухоли- α (TNF- α), интерлейкина (IL)-1 β и IL-6 заметно повышены при многих патологических состояниях миокарда, связанных с фиброзом.

TNF- α может способствовать фиброзу за счет прямого воздействия на сердечные фибробласты или за счет воздействия на другие типы клеток миокарда. TNF- α напрямую не индуцирует программу синтеза матрикса в сердечных фибробластах, а скорее снижает синтез коллагена и стимулирует экспрессию MMP. Таким образом, TNF- α -опосредованный фиброз может отражать ответ на деградацию ECM. TNF- α может также способствовать фиброгенной активации популяций иммунных клеток в поврежденном миокарде.

Подобно TNF- α , фиброгенное действие IL-1, затрагивает как фибробласты, так и иммунные клетки. IL-1 α , так и IL-1 β ингибируют превращение фибробластов в миофибробласты, ингибируют пролиферацию фибробластов, и уменьшают синтез коллагена сердечными фибробластами.

IL-33, другой член семейства цитокинов IL-1, участвует в регуляции фиброза в нескольких различных органах. [19] У пациентов с терминальной стадией сердечной недостаточности активация IL-33 и ST2 была связана с фиброзными изменениями.

Семейство цитокинов IL-6 (также называемое семейством gp130) включает IL-6, IL-11, онкостатин-М, фактор, ингибирующий лейкемию, и кардиотрофин-1 и участвует в патогенез сердечного фиброза. ИЛ-6 оказывает фиброгенное действие. Фиброгенные эффекты ИЛ-6 приписывают STAT3-зависимой стимуляции синтеза коллагена сердечными фибробластами или индукции TGF- β

Противовоспалительные цитокины ИЛ-4, ИЛ-10 и ИЛ-13 участвуют в патогенезе фиброза в нескольких различных органах. Подтверждается роль эндогенного ИЛ-4 в сердечном фиброзе.

Индукция ИЛ-13 была зарегистрирована в инфарктных и в фиброзных стареющих сердца и может быть локализована в лимфоцитах Th2.

Активация ИЛ-10 была зарегистрирована в моделях репаративного фиброза и фиброза, вызванного перегрузкой давлением, и локализована в Т-лимфоцитах и субпопуляциях макрофагов, инфильтрирующих поврежденное и ремоделирующее сердце.

3. Суперсемейство TGF- β

TGF- β является наиболее хорошо охарактеризованным фиброгенным фактором роста. [20] У млекопитающих подсемейство TGF- β состоит из трех изоформ (TGF- β 1, 2 и 3), которые передают сигналы через одни и те же рецепторы и имеют общие клеточные мишени, но проявляют различные паттерны регуляции и разное сродство к своим рецепторам. Таким образом, три изоформы, вероятно, играют разные роли в патофизиологии фиброзных состояний.

TGF- β оказывает широкий спектр прямых эффектов на фибробласты, что может способствовать патогенезу фиброза. Стимуляция TGF- β сильно индуцирует преобразование миофибробластов и увеличивает синтез белка ECM активированными фибробластами.

Информация о роли других членов суперсемейства TGF- β в сердечном фиброзе ограничена. Несколько членов подсемейства костных морфогенетических белков (BMP), включая BMP2, BMP4 и BMP6, активируются в инфарктных сердцах и могут оказывать провоспалительное действие. [22]

4. PDGF

PDGF (PDGF-AA, -BB, AB, CC и DD) представляют собой гомо- или гетеродимерные факторы роста, передающие сигналы через два разных рецептора: PDGFR- α и PDGFR- β . Изоформы PDGF играют роль в активации

фиброзного ответа после повреждения миокарда. PDGF-A, PDGF-C и PDGF-D обладают мощным фиброгенным действием на миокард, опосредованным прямым действием и, частично, посредством повышающей регуляции TGF- β . В соответствии с его высокой экспрессией в фибробластах, активация PDGFR- α неизменно связана с миокардиальным фиброзом.

5. Ось Wnt/ β -катенин

У млекопитающих сигнальный путь Wnt участвует в эмбриональном развитии, но становится неактивным во взрослых тканях с низким оборотом, таких как сердце. Члены семейства секретируемых гликопротеинов Wnt секретируются после повреждения, связываются с трансмембранными рецепторами семейства Frizzled и иницируют передачу сигналов через канонические пути, включающие β -catenin, или через неканонические пути.

В поврежденном сердце передача сигналов Wnt активируется во многих различных типах клеток и, как предполагается, способствует репаративным, регенеративным и фиброзным реакциям.

6. Эндотелин-1

Endothelin (ET)-1 оказывает мощное фиброгенное действие, действуя ниже уровня цитокинов и нейрогуморальных медиаторов, [21] таким образом, связывая воспаление и фиброз. Ангиотензин II и TGF- β индуцируют ET-1 в экспериментальных моделях кардиального фиброза. [22] Повышающая регуляция ET-1 постоянно отмечается при многих сердечных патологиях, связанных с фиброзом, включая ИМ, сердечную недостаточность, гипертоническую болезнь сердца, диабет и старение.

7. ВКМ как модулятор связанного с фиброзом клеточного ответа

Глубокие изменения в количестве и биохимическом профиле белков ВКМ в фиброзном сердце не только влияют на сердечную функцию и проводимость электрического импульса, но также могут играть важную роль в регуляции клеточных ответов и в передаче фиброгенных сигнальных путей. Генерация матриксных фрагментов (называемых матрикриптинами и матрикинами) активированными протеазами, отложение белков временного матрикса (таких как фибронектин и фибрин) и индукция матрицеллюлярных макромолекул, которые обогащают интерстициальный матрикс, являются наиболее документированными механизмами матрично-опосредованной регуляции фиброгенных клеточных ответов в поврежденном сердце.

8. Матрикины и матрикриптины

Матрикины представляют собой фрагменты макромолекул ВКМ с биологическими свойствами, отличными от свойств полноразмерной формы молекулы. Термин матрикриптин используется для описания матрикина, который требует протеолитической обработки для раскрытия биоактивного функционального домена. Эти фрагменты матрикса связываются с рецепторами клеточной поверхности на фибробластах, сосудистых клетках или иммунных клетках и могут модулировать фиброзный ответ. В среде, богатой протеазами, все составляющие внеклеточного матрикса сердца (включая коллагены I, IV и XVIII, эластин, фибронектин, гиалуронан и тенасцин-C) могут образовывать фрагменты. [23]

9. Компоненты временной матрицы: фибрин и фибронектин

Повреждение миокарда увеличивает проницаемость микрососудов, вызывая экстравазацию плазменного фибриногена и фибронектина и создавая временную матриксную сеть, которая особенно заметна во время воспалительной и пролиферативной фазы ИМ. [23] Временная матрица обеспечивает динамический субстрат для взаимодействия между интегринами, экспрессируемыми фибробластами и иммунными клетками, и функциональными доменами фибрина и фибронектина, тем самым облегчая миграцию клеток и трансдуцируя активирующие сигналы.

10. Отложение и сшивка фибриллярных коллагенов

Секреция основных фибриллярных коллагенов, коллагена I и коллагена III является отличительной чертой сердечного фиброза. Относительное количество коллагеновых волокон типа I и типа III может иметь важное значение в регуляции механических свойств миокарда. Волокна коллагена I толще и жестче; тонкие ретикулярные волокна коллагена III более податливы.

11. Нефибриллярные коллагены

Помимо повышенного синтеза и отложения структурных фибриллярных коллагенов, сердечный фиброз также связан со сверхэкспрессией нескольких нефибриллярных коллагенов, включая коллагены IV, VI и VIII. Факторы фиброгенного роста, такие как TGF- β , ответственны за индукцию нефибриллярных коллагенов в активированных фибробластах и в фиброзном сердце.

12. Матрицеллюлярные белки, галектины и протеогликаны

Матрицеллюлярные белки представляют собой группу структурно неродственных белков, которые

не играют основной роли в тканевом гомеостазе, но активируются после повреждения и модулируют клеточные реакции. Матрицеллюлярные белки связываются со структурными белками ВКМ и с рецепторами клеточной поверхности, трансдуцируя или модулируя сигнальные каскады, а также могут регулировать активность протеаз, цитокинов и факторов роста. Несколько матрицеллюлярных макромолекул, в том числе тромбоспондины (TSP), SPARC (секретируемый белок, кислый и богатый цистеином), остеопонтин, периостин, тенасцины-С и -Х, а также члены семейства CCN, участвуют в патогенезе сердечного фиброза и действующие как ключевые регуляторы активности фибробластов и функции иммунных клеток. [1]

Галектины представляют собой лектины, связывающие β-галактозиды, участвующие в пролиферации, дифференцировке, адгезии и миграции клеток, которые играют важную роль в регуляции воспалительных и иммунных реакций. Галектин-3, наиболее изученный член семейства. Галектин-3 заметно и последовательно активируется в фиброзных сердцах и преимущественно экспрессируется активированными макрофагами. Галектин-3, полученный из макрофагов, может связываться с ECM, действуя как матрицеллюлярный белок, или может оказывать цитокиноподобное действие. Из-за выраженной активизации и секреции при фиброзных состояниях сердца галектин-3 может быть многообещающим биомаркером и полезным предиктором неблагоприятного исхода у пациентов с сердечной недостаточностью.

Фиброзное сердце также богато протеогликанами, профиль которого зависит от топографии. Гепарансульфатные протеогликаны (HSPG) обычно находятся близко к клеточной поверхности и накапливаются в перицеллюлярном матриксе. Дальше от клеток преобладают хондроитин- и дерматансульфатсодержащие протеогликаны (CSPG и DSPG). Стимуляция фактора роста индуцирует экспрессию и отложение CSPG в фиброзном миокарде. ВКМ сердца также содержит небольшие богатые лейцином протеогликаны (SLRP), такие как декорин, бигликан, фибромодулин, люмикан и остеоглицин. SLRPs вовлечены в организацию структурного ECM на основе коллагена, в регуляцию активации фактора роста и в сигнальные ответы с участием рецепторных тирозинкиназ.

13. Синдеканы

Синдеканы представляют собой трансмембранные протеогликаны, которые способствуют передаче сигнала в фиброгенных процессах, опосредованных факторами роста. Синдекан-1 вовлечен в активацию репаративных фибробластов после ИМ, защищая желудочек

от разрыва, [24] и играет аналогичную активирующую фибробласты роль при фиброзе, индуцированном ангиотензином II, способствуя дисфункции. Синдекан-4 также участвует в активации миофибробластов в моделях инфаркта и перегрузки давлением. Фиброгенные действия синдеканов могут быть опосредованы через активацию сигнальных каскадов TGF-β, или через активацию интегрин-зависимой передачи сигналов.

14. CD44.

Повсеместно экспрессируемый гликопротеин CD44 участвует в регуляции широкого спектра клеточных функций, включая клеточную адгезию, миграцию. В условиях фиброза белки ECM, такие как гиалуранан и остеопонтин, могут связываться с CD44 и трансдуцировать фиброгенные внутриклеточные каскады.

15. Механочувствительные сигнальные пути при сердечном фиброзе

В дополнение к их репаративному ответу на повреждение и гибель окружающих клеток миокарда, который опосредован преимущественно секретруемыми медиаторами или изменениями в составе и жесткости внеклеточного матрикса, фибробласты также могут активироваться при механическом стрессе. Механочувствительная активация фибробластов могла развиваться для защиты целостности ткани, предотвращения катастрофического воздействия механических сил на структуру ткани. Однако в сердце длительное механическое напряжение вызывает стойкую активацию фибробластов и избыточное отложение коллагенов, что приводит к дезадаптивным изменениям структуры миокарда и функциональным нарушениям.

16. Интегрины

Интегрины представляют собой трансмембранные рецепторы, участвующие в передаче механочувствительных, матрицеллюлярных сигналов и сигналов, опосредованных факторами роста. В поврежденном и перестраивающемся сердце интегрины индуцируются и активируются в фибробластах, кардиомиоцитах и иммунных клетках и трансдуцируют сигнальные каскады, играющие решающую роль в сердечном фиброзе. [25] Факторы роста, такие как TGF-β и нейрогуморальные медиаторы, такие как ангиотензин II, индуцируют и активируют интегрины в сердечных фибробластах. Активированные интегрины взаимодействуют с широким спектром партнеров по связыванию и трансдуцируют нижестоящие сигнальные каскады, способствуя формированию миграционного, матрично-синтетического и пролиферативного фенотипа фибробластов. Интегрины β1 и αV являются наиболее из-

ученными членами семейства при сердечном фиброзе и участвуют в активации фибробластов при нескольких различных патологических состояниях. Интегрин $\beta 1$ индуцируется и активируется в фибробластах и иммунных клетках после повреждения сердца, опосредует активацию фибробластов в перегруженном давлением сердце.

17. ФАК

ФАК, тирозинкиназа без рецепторного белка, активируется в ответ на механический стресс и представляет собой критическую молекулярную связь между механочувствительной или опосредованной фактором роста активацией интегрин и приобретением матрично-синтетического фенотипа миофибробластов. ФАК оказывает широкое влияние на кардиомиоциты, сосудистые и интерстициальные клетки, таким образом, ФАК-опосредованный фиброз может быть связан с действием на несколько различных типов клеток.

18. MAPK. В поврежденном и ремоделируемом миокарде MAPK активируются во многих различных типах клеток под действием широкого спектра стимулов, включая механический стресс, секретируемые медиаторы (цитокины, факторы роста и нейрогуморальные медиаторы) и матрицеллюлярные белки. MAPK является основной изоформой, экспрессируемой в сердечных фибробластах, и было обнаружено, что она способствует конверсии миофибробластов при ишемическом повреждении или нейрогуморальной стимуляции.

19. Путь RhoA/ROCK. Активация тирозинкиназ, рецепторов пары G-белков и интегринов задействует факторы обмена Rho-гуаниновых нуклеотидов (RhoGEF), что приводит к активации малого GTP-связывающего белка RhoA. Впоследствии RhoA передает сигналы через Rho-ассоциированные спиральные киназы, содержащие (ROCKs), ROCK1 и ROCK2, и играет важную роль в генерации актин-миозиновой сократимости и в регуляции динамики цитоскелета. [26]

20. Механочувствительные ионные каналы

Новые данные свидетельствуют о важной роли механочувствительных ионных каналов в активации фибробластов и в патогенезе миокардиального фиброза. Фиброгенные медиаторы, такие как ангиотензин II и TGF- β , активируют членов семейства катионных каналов переходного рецепторного потенциала (TRP), таких как TRPC6, TRPM7 и TRPV4. [27] Все три канала TRP вовлечены в конверсию миофибробластов. TRPM7 представляет собой канал, слитый с киназой, и, как сообщается, оказывает как про-, так и антифибротическое действие.

21. YAP/TAZ. Гомологичные коактиваторы транскрипции yes-associated protein (YAP) и TAZ (коактиватор транскрипции с PDZ-связывающим мотивом) являются ключевыми регуляторами клеточных ответов на механический стресс. Динамика актинового цитоскелета, кадгерин-опосредованные соединения и фокальные адгезии играют важную роль в активации YAP/TAZ. YAP/TAZ регулируются как путем Hippo, так и через Hippo-независимые механизмы. Путь Hippo негативно регулирует YAP/TAZ посредством фосфорилирования и активации киназ супрессоров больших опухолей (LATS)1/2. При активации LATS1/2 фосфорилируют YAP и TAZ, чтобы способствовать их ядерному экспорту и деградации, тем самым отменяя их транскрипционные эффекты. Действия YAP/TAZ оказывают глубокое влияние на клеточный фенотип, модулируя клеточную дифференцировку, пролиферацию и выживаемость. YAP/TAZ участвует в фиброзных реакциях во многих различных тканях, усиливая TGF- β -зависимую активацию Smad2/3 и путем стимуляции пролиферации фибробластов и синтеза растворимых фиброгенных факторов.

22. Ось миокардин-связанный транскрипционный фактор (MRTF)/SRF. Подобно YAP/TAZ, путь MRTF также регулируется динамикой цитоскелета. Изменения в механической среде или передаче сигналов фактора роста активируют систему RhoA/ROCK и запускают полимеризацию F-актина, что приводит к транслокации MRTF в ядро. MRTF взаимодействует с повсеместно экспрессируемым фактором транскрипции SRF, активируя промоторы, содержащие бокс CArG элемента ДНК.

23. Окислительный стресс

Митохондриальная продукция АФК увеличивается в активированных фибробластах и может критически регулировать их фенотип и функцию, способствуя патогенезу фиброзных состояний. АФК образуются в ишемизированном и ремоделированном сердце и могут представлять собой общую связь между многими различными формами. Профибротические эффекты фиброгенных факторов роста, таких как TGF- β , ангиотензин II и альдостерон, могут быть опосредованы образованием АФК. Стимуляция TGF- β генерирует митохондриальные АФК, а также индуцирует никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФН) оксидазы, которые дополнительно повышают уровень АФК в клетках. Повышенные уровни АФК в активированных фибробластах стимулируют транскрипцию гена ВКМ, но также регулируют посттрансляционные модификации компонентов ВКМ.

24. Эпигенетическая регуляция сердечного фиброза

Эпигенетическая регуляция относится к эффектам экспрессии генов, опосредованным химически-

ми модификациями нуклеосомной ДНК и гистоновых хвостов. В фибробластах посттрансляционные модификации гистонов, включая ацетилирование и метилирование, а также метилирование ДНК, имеют хорошо задокументированные эффекты на экспрессию генов, связанных с фиброзом. Лизиновые остатки гистонового хвоста могут быть ацетилированы гистоновыми ацетилтрансферазами (НАТ).

25. Некодирующие РНК при сердечном фиброзе

Некодирующие РНК-транскрипты, включая микроРНК (миРНК) и длинные некодирующие РНК (днРНК), участвуют в патогенезе сердечного фиброза, регулируя экспрессию генов на посттранскрипционном уровне. миРНК, как предполагается, нацелены на несколько важных фиброгенных каскадов, включая TGF- β /Smad, angiotensin II/MAPK, RhoA/ROCK, MRTF/SRF и катионные ионные каналы.

26. Эндогенные механизмы, участвующие в негативной регуляции сердечного фиброза

Эндогенные сигналы, сдерживающие расширение фибробластов и ингибирующие функцию фибробластов, развились, чтобы предотвратить длительные, чрезмерные или расширяющиеся фиброгенные реакции в заживающих тканях. переходят в состояние покоя и могут снижать уровень экспрессии белков ECM. Другие антифибротические сигналы могут ингибировать ответ на нейрогуморальные активаторы фиброза. Передача сигналов белка апелина была предложена в качестве негативного регулятора опосредованного ангиотензином II фиброзного ремоделирования. Более того, фибробласты могут модулировать свой ответ на фиброгенное действие ангиотензина II путем изменения их относительной экспрессии профибротического AT1-рецептора по сравнению с антифибротическим AT2.

Выводы

Патофизиологическая гетерогенность фиброзных состояний миокарда и сложность реакции фибробластов на повреждение значительно усложняют разработку антифибротических стратегий при заболеваниях миокарда. Несмотря на четкую связь между тяжестью сердечного фиброза и неблагоприятным исходом у пациентов с сердечными заболеваниями, документирование причинно-следственных связей остается сложной задачей. Активация фибробластов является критическим репаративным ответом после повреждения миокарда и может сохранять структуру и функцию не только при ИМ, но и при хронической сердечной недостаточности. Прогресс в этой области требует новых знаний в нескольких различных направлениях. Во-первых, учитывая гетерогенность интерстициальных клеток, характеристика подмножеств фибробластов в норме и при заболевании и идентификация отношений между различными транскриптомными или протеомными профилями и функциональными свойствами имеет решающее значение. Во-вторых, систематическое изучение клеточно-специфических действий *in vivo* даст нам представление о клеточной биологической роли этих многофункциональных клеток. В-третьих, учитывая сосуществование кардиомиоцитарной и интерстициальной патологии в большинстве состояний миокарда человека, нам необходимо понять, в какой степени первичная активация фибробластов способствует дисфункции, аритмиям и неблагоприятному исходу. Поскольку относительный вклад фиброза, вероятно, зависит от контекстуальных факторов, необходимо разработать стратегии для выявления подмножеств пациентов с неадекватными или чрезмерными фиброзными реакциями, которые могут получить пользу от вмешательств, направленных на фиброгенную передачу сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Винн Т.А. Клеточные и молекулярные механизмы фиброза. *J Pathol* 2008;214:199–210. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
2. Frangogiannis NG. Фиброз сердца: клеточные биологические механизмы, молекулярные пути и терапевтические возможности. *Mol Aspects Med* 2019;65:70–99. [PubMed] [Google Scholar]
3. Олук Б.К., Фудзивара К., Лехукс С. Ремоделирование ECM при гипертонической болезни сердца. *J Clin Invest* 2007;117:568–575. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
4. Ключенс Дж.П., Верлутен М. Дж., Смитс Дж.Ф., Деймен М. Дж. Ремоделирование коллагена после инфаркта миокарда в сердце крысы. *Ам Джей Патол* 1995;147:325–338. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
5. Ашизава Н., Граф К., До И.С., Нунохиро Т., Джачелли К.М., Михан Р.П., Туан Т.Л., Сюэ В.А. Остеопонтин вырабатывается фибробластами сердца крысы и опосредует А (II)-индуцированный синтез ДНК и сокращение коллагенового геля. *J Clin Invest* 1996;98:2218–2227. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
6. Комацубара I, Мураками Т, Кусачи С, Накамура К, Хирохата С, Хаяси Дж, Такемото С, Суэдзава С, Ниниомиа У, Сиратори Ю. Пространственно и временная различная экспрессия остеонектина и остеопонтина в зоне инфаркта экспериментально индуцированного инфаркта миокарда у крыс. *Кардиоваскулярная патология* 2003;12:186–194. [PubMed] [Google Scholar]

7. Ключенс Дж.П., Канда Дж.К., Гуарда Э., Гунтака Р.В., Вебер К.Т. Регуляция деградации коллагена в миокарде крысы после инфаркта. *J Mol Cell Cardiol* 1995;27:1281–1292. [PubMed] [Google Scholar]
8. Доктор медицины Таллквист. Разнообразие фиброblastов сердца. *Annu Rev Physiol* 2020;82:63–78. [PubMed] [Google Scholar]
9. Фарбеги Н., Патрик Р., Дорисон А., Хаймардан М., Джанбандху В., Вистуб-Лис К., Хо Дж.У., Нордон РЕ, Харви Р.П. Профилирование экспрессии отдельных клеток выявляет динамический поток стромальных, сосудистых и иммунных клеток сердца при заболеваниях и травмах. *Elife* 2019;8: e43882. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
10. Вебер К.Т., Сан У, Бхаттачарья К.К., Ахокас Р.А., Герлинг И.К. Миофибробласто-опосредованные механизмы патологического ремоделирования сердца. *Nat Rev Cardiol* 2013;10:15–26. [PubMed] [Google Scholar]
11. Sadoshima J, Xu Y, Slayter HS, Izumo S. Аутокринное высвобождение ангиотензина II опосредует индуцированную растяжением гипертрофию сердечных миоцитов *in vitro*. *Ячейка* 1993;75:977–984. [PubMed] [Google Scholar]
12. Садошима Дж., Идзумо С. Молекулярная характеристика индуцированной ангиотензином II гипертрофии миоцитов сердца и гиперплазии фиброblastов сердца. Критическая роль подтипа рецептора AT1. *Circ Res* 1993;73:413–423. [PubMed] [Google Scholar]
13. Крабос М., Рот М., Хан А.В., Эрне П. Характеристика рецепторов ангиотензина II в культивируемых фиброblastах сердца взрослых крыс. Связь с сигнальными системами и экспрессией генов. *J Clin Invest* 1994;93:2372–2378. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
14. Гуранц Д., Каулинг Р.Т., Варки Н., Фриковский Е., Мур К.Д., Гринберг Б.Х. IL-1beta и TNF-альфа активируют рецепторы ангиотензина II типа 1 (AT1) на сердечных фиброblastах и связаны с увеличением плотности AT1 в сердце после инфаркта миокарда. *J Mol Cell Cardiol* 2005;38:505–515.
15. Эверетт А.Д., Хеллер Ф., Фишер А. Регуляция гена рецептора AT1 в кардиомиоцитах и фиброblastах. *J Mol Cell Cardiol* 1996;28:1727–1736. [PubMed] [Google Scholar]
16. Лайнен П., Петров В. Индукция фиброза сердца альдостероном. *J Mol Cell Cardiol* 2000;32:865–879. [PubMed] [Google Scholar]
17. Кэмпбелл С.Е., Яницки Дж.С., Вебер К.Т. Временные различия в пролиферации фиброblastов и экспрессии фенотипа в ответ на хроническое введение ангиотензина II или альдостерона. *J Mol Cell Cardiol* 1995;27:1545–1560. [PubMed] [Google Scholar]
18. Стоканд Дж. Ди, Месарош Дж. Дж. Альдостерон стимулирует пролиферацию сердечных фиброblastов, активируя передачу сигналов K-RasA и MAPK1/2. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2003;284: H176–184. [PubMed] [Google Scholar]
19. Коциу О.С., Гургулианис К.И., Зарогианнис С.Г. Ось IL-33 / ST2 при фиброзе органов. *Фронт Иммунол* 2018;9:2432. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
20. Frangogiannis NG. Трансформирующий фактор роста (TGF)-бета при фиброзе тканей. *J Exp Med* 2020;217: e20190103. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
21. Leask A. Potential therapeutic targets for cardiac fibrosis: TGFbeta, angiotensin, endothelin, CCN2, and PDGF, partners in fibroblast activation. *Circ Res* 2010;106:1675–1680. [PubMed] [Google Scholar]
22. Лю Дж., Чжуан Т., Пи Дж., Чен Х, Чжан Q, Ли Y, Ван Н, Шен Y, Томлинсон В, Чан Р, Ю Z, Чен Y, Чжэн X, Рейли М, Моррисси Е, Чжан L, Лю Z, Чжан Y. Транскрипционный фактор P1 эндотелиальной коробки forkhead регулирует патологическое ремоделирование сердца посредством трансформирующего сигнального пути фактора роста-бета1-эндотелин-1. *Циркуляция* 2019;140: 665–680. [PubMed] [Google Scholar]
23. Добачевский М., Буджак М., Зимек П., Рен Г., Энтман М.Л., Франгогианнис Н.Г. Ремоделирование внеклеточного матрикса при инфарктах миокарда у собак и мышей. *Cell Tissue Res* 2006;324:475–488. [PubMed] [Google Scholar]
24. Ванхутте Д., Шеллингс М.М., Гетте М., Свиннен М., Хериас В., Уайлд М.К., Вествебер Д., Хорианопулос Е., Кортес В., Риготти А., Степп М.А., Ван де Верф Ф., Кармелит П., Пинто Ю.М., Хейманс С., Повышенная экспрессия синдекана-1 защищает от сердечных Дилатация и дисфункция после инфаркта миокарда. *Циркуляция* 2007;115:475–482. [PubMed] [Google Scholar]
25. Чен С, Ли Р, Росс Р.С., Мансо А.М. Интегрины и связанные с интегрином белки при фиброзе сердца. *J Mol Cell Cardiol* 2016;93:162–174. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]
26. Луаран Г., Соз В., Пако П. Небольшие G-белки в сердечно-сосудистой системе: физиологические и патологические аспекты. *Physiol Rev* 2013;93: 1659–1720. [PubMed] [Google Scholar]
27. Симицзу Т., Наранг Н., Чен П., Ю Б., Кнапп М., Джанарданан Дж., Блэр Дж., Ляо Дж.К. Удаление фиброblastов ROCK2 ослабляет гипертрофию сердца, фиброз и диастолическую дисфункцию. *JCI Insight* 2017;2: e93187. [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [Google Scholar]

© Каруцкая Ольга Анатольевна, Сердюкова Анна Викторовна (Serdukova.an@mail.ru),

Брижанева Анастасия Сергеевна (brizhaneva.anastasya@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ С ПОДСЧЁТОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ СКРИНИНГОВЫХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ

PROSPECTS OF COMPUTER PROCESSING OF ELECTROENCEPHALOGRAPHY WITH SPECTRAL POWER CALCULATION DURING SCREENING EXAMINATIONS

**N. Kipyatkov
K. Belskaya**

Summary. Introduction: during screening examinations of the population, EEG is widely used to assess the functioning of the brain, primarily to exclude epileptic changes. The need to examine a large number of subjects in a short time period dictates its own characteristics and inevitably reduces the diagnostic value of the study.

Objective: to analyze the use of EEG in screening conditions during dispensary examinations and to try to select from a wide variety of quantitative assessment methods those that, on the one hand, are mathematically more universal (taking into account a wide variety of EEG processing devices and programs), on the other hand, are clinically reliable.

Methods: we recorded the resting EEG for a minute in 8 bipolar leads: using the complexes Micar-EEG-202 and Neuron-Spectrum-2. The subsequent computer processing of the signal was carried out using the WinEEG program. Group A was formed for the study. It consisted of 890 healthy subjects aged 18 to 65 years who underwent voluntary psychiatric examination. For control, the study group B was used — 82 patients with diagnoses encoded within the subgroup Mental disorders and behavioral disorders (F00-F99) ICD10.

Results: as part of our work, we evaluated the possibility of using quantitative indicators of computer signal processing in screening conditions in addition to standard visual analysis. It is shown that the determination of spectral power by ranges gives the most repeatable results when conducting EEG under different conditions.

Conclusion: a high degree of reliability of spectral power indicators in the theta range can be noted when comparing large groups of healthy subjects and patients with a neuropsychiatric profile.

Keywords: screening examinations, EEG, brain, computer analysis.

Кипятков Никита Юрьевич

К.м.н., ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет» Министерства здравоохранения России
fd@pnd1.spb.ru

Бельская Ксения Алексеевна

К.м.н., ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный педиатрический медицинский
университет» Министерства здравоохранения России
Belskaya.k.a@gmail.com

Аннотация. Введение: при проведении скрининговых осмотров населения для оценки функционирования головного мозга широко используется ЭЭГ в первую очередь для исключения эпилептических изменений. Необходимость обследования большого количества испытуемых в небольшой временной промежуток диктует свои особенности и неизбежно снижает диагностическую ценность исследования.

Цель: анализ использования ЭЭГ в скрининговых условиях при проведении диспансерных осмотров и попытка подобрать из большого разнообразия количественных методов оценки те, которые с одной стороны математически более универсальны (с учетом большого разнообразия аппаратов и программ обработки ЭЭГ) с другой стороны клинически достоверны.

Методы: мы регистрировали ЭЭГ покоя в течение минуты в 8 биполярных отведениях: с помощью комплексов Мицар-ЭЭГ-202 и Нейрон-Спектр-2. Последующая компьютерная обработка сигнала проводилась с помощью программы WinEEG. Для исследования была сформирована группа А. Ее составили 890 здоровых испытуемых в возрасте от 18 до 65 лет проходившее добровольное психиатрическое освидетельствование. Для контроля использовалась исследуемая группа В — 82 пациента с диагнозами, кодируемыми в рамках подгруппы Психические расстройства и расстройства поведения (F00-F99) МКБ 10.

Результаты: в рамках нашей работы мы оценили возможность использования количественных показателей компьютерной обработки сигнала в условиях скрининга в дополнение к стандартному визуальному анализу. Показано, что определение спектральной мощности по диапазонам дает наиболее повторяемые результаты при проведении ЭЭГ в разных условиях.

Заключение: можно отметить высокую степень достоверности показателей спектральной мощности в тета-диапазоне при сравнении больших групп здоровых обследуемых и пациентов психоневрологического профиля.

Ключевые слова: скрининговые осмотры, ЭЭГ, головной мозг, компьютерный анализ.

Введение и цель

Сегодня ЭЭГ вышло за рамки диагностики эпилепсии в практике врача невролога и используется существенно шире. Физиологическая сущность функционирования головного мозга отражается в особенностях электрического тока, возникающего в нейронных системах при различных фазовых состояниях центральной нервной системы. Изучение этих особенностей функционирования расширяет наши представления о механизмах работы центральной нервной системы. ЭЭГ широко применяется в психиатрии, психотерапии, наркологии, анестезиологии-реаниматологии и т.д. Современные аппаратно-программные комплексы свободно оперируют большими объемами данных, помогая исследователю выбрать ценную информацию для последующего анализа. Технические решения сегодня позволяют длительное время регистрировать ЭЭГ с множества точек, оценивая как фоновую активность, так и реакция мозга на предъявляемые раздражители. Технические возможности новой аппаратуры позволяют записывать ЭЭГ сутками. Однако в параллель с такими неограниченными по времени и мощности ресурсами развивается внедрение ЭЭГ в диспансерные обследования [1, 2]. Когда в качестве вводных условий необходимо провести исследование у большого количества испытуемых в сжатые временные сроки, в рамках медицинских осмотров населения приходится жертвовать длительностью исследования, укорачивать или исключать некоторые функциональные пробы. Клиническая значимость таких исследований неизбежно снижается. Достижение баланса между временными затратами на проведение одного исследования и его ценностью в плане выявляемости патологических ситуаций нам представляется чрезвычайно важным. Конечно, верифицировать конкретные патологические синдромы при проведении «быстрых» исследований не представляется возможным. Однако условно разделить обследуемых на группу «здоровые» и группу «требующие дополнительного обследования» возможно и ценно.

Целью нашей работы послужил анализ использования ЭЭГ в скрининговых условиях при проведении диспансерных осмотров в рамках работы врачебных комиссии по добровольному психиатрическому освидетельствованию. Предпринята попытка подобрать из большого разнообразия количественных методов оценки те, которые с одной стороны, математически более универсальны, и значит, воспроизводимы на разных аппаратах с программным обеспечением разных производителей. С другой стороны, параметрам, презентуемым подобной количественной обработкой необходимо быть удобными для оценки, универсальными и воспроизводимым на разных аппаратах и компьютерных программах.

Материалы и методы

На базе нейрофизиологического кабинета Психоневрологического диспансера № 1 были зарегистрированы ЭЭГ покоя длительностью более одной минуты в следующих биполярных отведениях: Fp1 — C3, Fp2 — C4, C3 — O1, C4 — O2, O1 — T3, O2 — T4, T3 — Fp1, T4 — Fp2 с помощью аппаратов экспертного класса Мицар-ЭЭГ-202 и Нейрон-Спектр-2. Обработка с помощью компьютерных программ была обязательным условием нашего исследования в след за визуальной оценкой полученных записей, мы использовали программу WinEEG версия 2.14. Группа А была набрана для исследования в количестве 890 испытуемых отнесенных к группе «здоровые» с возрастным разбросом от 18 до 70 лет, все эти люди проходили добровольное психиатрическое освидетельствование у психиатра и выполняли ЭЭГ. Для отнесения к группе «здоровые» полученные нами ЭЭГ были оценены визуально на предмет отсутствия пароксизмальных, эпилептиформных или очаговых графоэлементов. Группу контроля (В) в нашем нейрофизиологическом обследовании составили 82 пациента проходившие обследование и лечение в условиях дневного стационара Психоневрологического диспансера, с диагнозами кодируемыми в подгруппе Психические расстройства и расстройства поведения (F00-F99) списка МКБ 10. Пациенты группы В были отобраны таким образом чтобы полученных у них записи ЭЭГ не имели грубых визуальных нейрофизиологических изменений. Прежде всего: основными ритмами, регистрируемыми в покое, были колебания в альфа и бета диапазонах. С частотой от 8 до 14 Гц. Без вспышек и разрядов медленных колебаний с доминантой по амплитуде, островолновых и спайковых комплексов и прочих графоэлементов традиционно трактуемых как эпилептиформные [3,4]. Таким образом мы хотели, чтобы все прошедшие через наше исследование ЭЭГ можно было в условиях быстрого диспансерного приема визуально отнести к группе «без патологических изменений».

Анализ данных был проведен с использованием программы SPSS9.0 for Windows следующим алгоритмом. В первую очередь определялось соответствие нормальному распределению в каждой выборке, в том числе с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Так как для полученных данных соответствие нормальному распределению не было доказано, мы анализировали полученные данные используя критерии Вальда-Вольфовица и Манна-Уитни. В результате математической обработки были отобраны показатели, достоверно статистически различающиеся в группах сравнения.

Результаты и их обсуждение

Варианты получения количественных показателей при компьютерном анализе ЭЭГ в современных условиях чрезвычайно широки, однако по нами данным и под данным источников литературы одним из наиболее стабильных воспроизводимых при повторных измерениях с помощью разных программ анализа является спектральная мощность [5]. По данным анализируемой литературы спектральный анализ ЭЭГ позволяет выявить существенные отличия амплитудных значений в некоторых частотных диапазонах при сравнении групп лиц с нарушениями функции мозга с подобными же показателями у здоровых людей [6,7,14]. Основа спектрального анализа — математическое преобразование Фурье, суть которого в презентации разных электрических сигналов (в том числе и ЭЭГ) как суммы волн различной частоты.

В нашей методике для вычисления спектральной мощности ЭЭГ выбирается 15 секундный фрагмент записи, зарегистрированной в состоянии спокойного комфортного бодрствования в положении сидя с закрытыми глазами. Программный комплекс вычисляет спектры мощности автоматически по следующему алгоритму. Заданный интервал кривых ЭЭГ разбивается на равные отрезки, определяемые показателем «длительность эпохи анализа». Наиболее оптимальные результаты мы получили, выбирая длительность эпохи анализа равную 5 секундам, с использованием параметра «перекрывание эпох анализа», установленном в программных настройках в виде 50%. При котором перекрываются все последующие эпохи (исключая первую) с помощью выделения отрезка записи кривых мозговой активности, который смещается на половину длины эпохи анализа хронологически предыдущей анализируемой. Следует отметить, что вычисление спектральной мощности выделенных по приведенному алгоритму отрезков для каждого частотного канала выполняется независимо. Для каждого выделенного отрезка записи биоэлектрической активности определялись параметры так называемого полиномиального тренда, с его последующей компенсацией. Порядок полиномиального тренда был определен в настройках программы равным нулю, таким образом чтобы при математическом анализе удалялась только постоянная составляющая. Временное окно сглаживало боковые максимумы с целью подавления просачивания энергии. Из возможных в используемой программе временных окон Уэлча, Ханна и Барлета мы выбрали для определения временное окно Ханна. В результате описанных выше математических преобразований с использованием «быстрого преобразования Фурье» определялся спектр мощности сигнала или периодограмма.

Интервал частот, выбранных для вычислений, был ограничен с помощью параметра «Диапазон низкочастотного сигнала» (от 0,25 до 1,25). Обработываемый сигнал считался выбракованным если его максимальная мощность превышала 200 микровольт хотя бы по одному каналу. Кроме этого, для всех изучаемых каналов по отобранным отрезкам ЭЭГ свободным от артефактов вычислялся средний спектр. Полученные таким образом результаты удобнее всего презентовать в процентах, так чтобы общая сумма процентов по всем частотным диапазонам для каждого изучаемого отведения составляла 100%.

При анализе литературы можно отметить большое количество разрозненных данных о чувствительности спектральной мощности как к приобретенным, так и к врожденным состояниям, патологически меняющим деятельность головного мозга. Так было показано повышение мощности в медленных дельта и тета диапазонах у пациентов с острыми нарушениями кровообращения головного мозга с отчетливой положительной динамикой к 14 дню при отсутствии локальных очагов медленной активности [8]. Ряд авторов отмечает повышение спектральной мощности в дельта диапазоне у пациентов с врожденными органическими поражением головного мозга [9]. В тоже время достоверные изменения спектральных характеристик ЭЭГ при шизофрении обнаруживаются только при анализе реакции на предъявление звуковых или визуальных стимулов [10,11,12]. Нельзя забывать, что мозг не может функционировать «в отрыве» от всего остального организма и те или иные изменений режима работы многих внутренних органов через психосоматические связи формируют изменения работы мозга, а значит изменения спектральной мощности ЭЭГ. Например, описывается повышение спектральной мощности в бета1 и альфа-диапазонах при различной эндокринной патологии [13]. Показано что различная влияния на мозговую активность при отсутствии нарушения в структуре головного мозга чаще всего касаются спектральной мощности в альфа и бета диапазонах, а «истинно мозговые» изменения в большей степени коррелируют с медленноволновыми диапазонами (дельта и тета).

В нашем исследовании статистически значимые различия в спектральной мощности в группах А и В локализируются преимущественно в тета-диапазоне в височно-затылочных и теменно-затылочных отведениях. В частности, в височно-затылочных отведениях Т3 — О1 в исследуемой группе А — $15,26 \pm 3,7$, в исследуемой группе В — $36,39 \pm 4,1$. Т4 — О2 средние значения в исследуемой группе А — $13,25 \pm 2,7$, в исследуемой группе В — $37,29 \pm 3,7$. В тоже время, для дельта диапазона в том же отведениях различия менее выражена: в исследуемой группе А — $6,80 \pm 5,5$, в исследуемой группе

В — $14,27 \pm 8,7$. Так же менее значимую достоверность показывают результаты по тета-диапазону в лобно-височных и лобно-теменных отведениях. F1 — T3 в исследуемой группе А — $14,17 \pm 2,6$, в исследуемой группе В — $26,45 \pm 3,8$. F2 — T4 средние значения в исследуемой группе А — $15,89 \pm 2,7$, в исследуемой группе В — $26,97 \pm 3,6$. Таким образом, статистически достоверная разница показателей в исследуемых группах ($p < 0,01$) отмечается в тета-диапазоне в отведениях T3 — O1 и T4 — O2; статистически достоверная разница ($p < 0,05$) в отведениях F1 — T3 и F2 — T4, а также при сравнении спектральной мощности в исследуемых группах в пределах дельта-диапазона.

Результат по альфа-диапазонам также демонстрируют разницу между исследуемыми группами, однако статистическая достоверность их менее результатов по тета-диапазону. Так, для отведения С4 — O2 в альфа-диапазоне средние значения в исследуемой группе А — $56,27 \pm 10,4$, в исследуемой группе В — $35,67 \pm 9,9$. Для отведения T3 — O1 в альфа-диапазоне средние значения в исследуемой группе А — $48,33 \pm 11,7$, в исследуемой группе В — $34,77 \pm 10,2$.

Анализируя спектральные мощности в бета-1 и бета-2-диапазонах мы столкнулись с рядом объективных трудностей. Известно, что электромиограмма, в случае если пациент не смог расслабиться или находится в некомфортном состоянии более всего искажает именно высокочастотную часть ЭЭГ. В условиях быстрых обследований при проведении диспансеризации возможность комфортно расслабиться для испытуемого реализуется далеко не всегда. Следует так же заметить, что наряду с компактностью современных приборов для регистрации ЭЭГ, которые легко монтируются на новом месте буквально за считанные минуты, стоматологические кресла, традиционно используемые для записи ЭЭГ в кабинетах функциональной диагностики в связи с их удачной эргономикой для комфортного полусидящего положения, как правило, не транспортируются к месту проведения медицинского осмотра в силу большого собственного веса. Поэтому при выездных обследованиях на территории предприятий

запись ЭЭГ осуществляется на обычном кресле, а иногда даже просто на стуле. Все эти условия существенно затрудняют интерпретацию высокочастотной части ЭЭГ при сравнении группы здоровых обследуемых и группы пациентов дневного стационара. Хотя ряд авторов указывает на изменения спектральной мощности как в тета, так и в альфа и бета диапазонах, например у больных с дисциркуляторной энцефалопатией [12]. Таким образом мы намеренно исключаем расчеты спектральной мощности в бета1 и бета2 диапазонах из математического анализа, априори предполагая их низкую точность в условиях диспансерных ЭЭГ исследований.

Наибольшую объективную трудность для скринингового выявления могут иметь заболевания группы F20-F29 по МКБ 10. Это группа диагнозов шизофрения, шизотипические и бредовые расстройства. Конечно, в первую очередь подозрение на подобный диагноз функция психиатрического освидетельствования. И ЭЭГ никоим образом не стремится заменить собой врача-психиатра. Не смотря на это ЭЭГ выполняемая в связке с осмотром психиатра вероятно могла бы помочь и в этом случае. Любопытно что у порядка 37% пациентов из обследуемой группы В с шизофренией показателем характерный «пик» в подсчитанной спектральной мощности дельта диапазона. Патогенез подобного изменения спектральной мощности может стать темой будущих более подробных и фундаментальных исследований.

Заключение

На основании проведенного исследования можно отметить высокую степень достоверности показателей спектральной мощности в тета-диапазоне (меньшую в дельта и альфа-диапазонах) при сравнении объемных групп «условно здоровых» и пациентов психиатров. Указанные изменения по нашим предположениям несут как специфический, так и неспецифический характер, однако при «быстрых осмотрах» при диспансеризации позволяют выделить лиц нуждающихся в более глубоком обследовании.

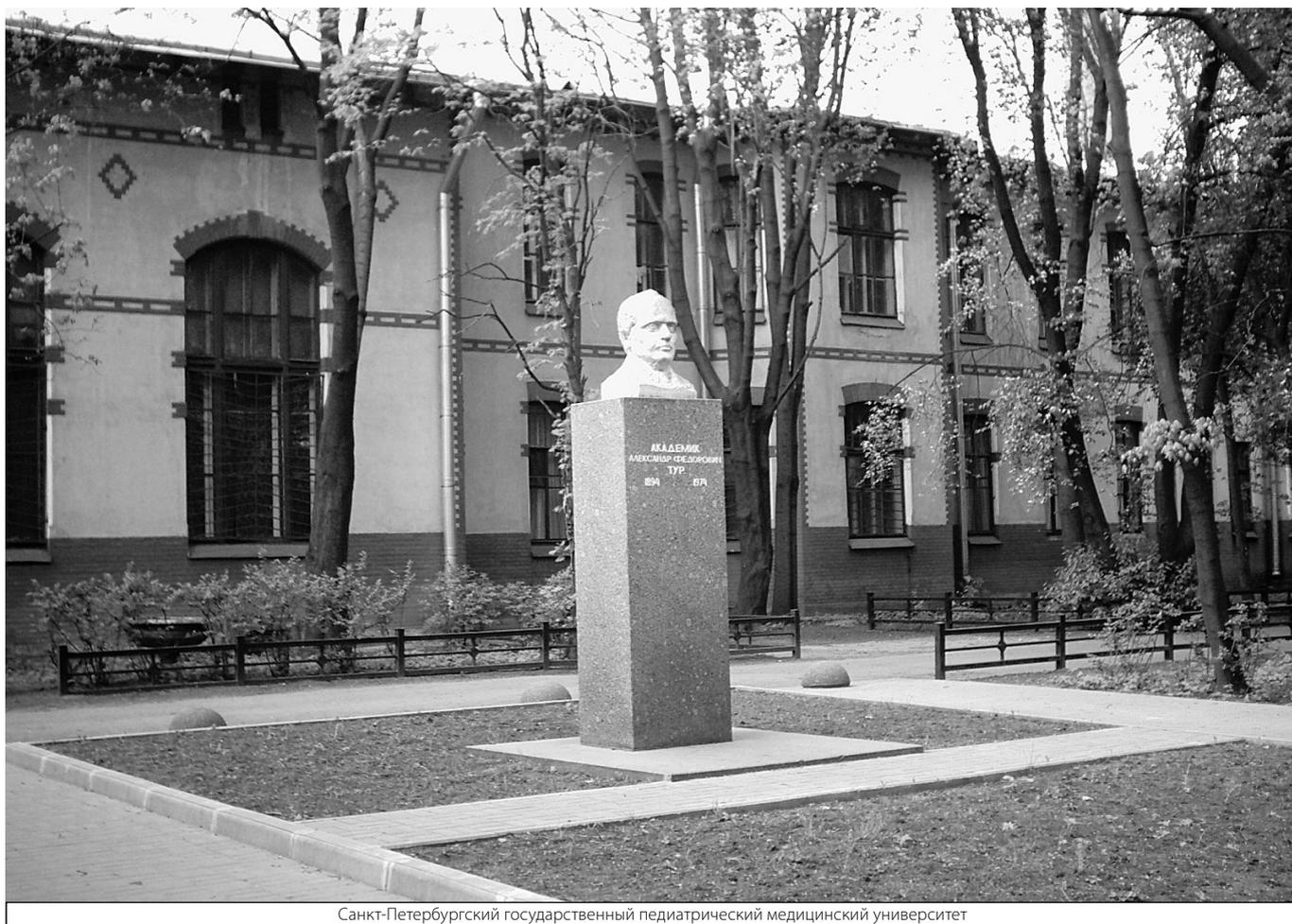
ЛИТЕРАТУРА

1. Сененко А.Ш., Савченко Е.Д., Сон И.М., Захарченко О.О. Результаты диспансеризации 2013–17 гг.: распределение обследованного населения по группам здоровья. Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики, 2012, № 1, С. 67–86.
2. Лытаев С.А., Кипятков Н.Ю., Швец И.А. Использование компьютерного анализа ЭЭГ для скрининговой оценки психического здоровья, Врач-апирант, 2008, Т. 24., № 3., С. 231–235.
3. Kipyatkov N. Yu., Dutov V.B., Timkina O.V., Lytaev S.A. Methods of mental state examination in conditions of time storage В сборнике: Changing Word and Environment: Approaches in Military Psychology and Psychophysiology. 44th International Applied Military Psychology Symposium. 2008. С. 54–55.
4. Santoshkumar B, Chong JJ, Blume WT, Prevalence of benign epileptiform variants, Epilepsy Programme, London Health Sciences Centre, London, Ont., Canada. Clin Neurophysiol., 2009, May;120(5) P:856–61.

5. Терещенко Е.П., Пономарев В.А., Мюллер А., Кропотов Ю.Д. Нормативные значения спектральных характеристик ЭЭГ здоровых испытуемых от 7 до 89 лет, Новые исследования Москва, 2010, С. 4–10.
6. Monastra V.J., Lubar J.F., Linden M. The Development Quantative Electroencephalographic Scanning Process for Attention Deficit, Hyperactivity Disorder: Reliability and Validity Studies Neurophysiology, 2001, V. 15, № 1, P. 136.
7. Klimesch W., Doppelmayr M., Wimmer H. et al. Alpha and beta band power changes in normal and dyslexic children, Clin. Neurophysiology. 2001, V. 112(7), P. 1186.
8. Кипятков Н.Ю., Лытаев С.А., Дутов В.Б., Бельская К.А. Тета-ритм ЭЭГ: возможные причины и вариант клинической оценки, Вестник клинической нейрофизиологии, 2019, № 5, С. 32–33.
9. Белова С.Н., Шейко А.К., Борзиков Г.Е. Количественная электроэнцефалография при изучении расстройств аутистического спектра, Практическая медицина, 2017, Том 1, С.35–39.
10. Мельникова Т.С., Саркисян В.В. Характеристики электроэнцефалографии эмоциональной памяти у больных при первом эпизоде параноидной шизофрении, Российский психиатрический журнал, 2017, С.68–72.
11. Пространственно-временные ЭЭГ-маркеры опознания слуховых образов в норме и при психопатологии Бельская К.А., Суловицкая Ю.В., Лытаев С.А. Педиатр. 2016. Т. 7. № 3. С. 49–55.
12. Algorithm for assessing auditory images perception and verbal information Belskaya K., Lytaev S. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. T. 1201. С. 30–36.
13. Васильева В.В., Боташева Т.Л., Хлопонина А.В., Особенности пространственно-временной организации биоэлектрической активности мозга беременных с эндокринной патологией, Медицинский вестник Северного Кавказа, 2019, т 14, № 1.1, С. 68–72.
14. Бакузова Д.В., Кожеватова Е.А. Возможности дискриминантного анализа электроэнцефалограмм в диагностике сосудистых умеренных когнитивных расстройств, Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии, 2015, № 8, С. 41–45.

© Кипятков Никита Юрьевич (fd@pnd1.spb.ru), Бельская Ксения Алексеевна (Belskaya.ka@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОЦЕНОЗА РОТОВОЙ ПОЛОСТИ У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИГАРЕТ И СИСТЕМ НАГРЕВАНИЯ ТАБАКА

Кишкань Алексей Алексеевич

Аспирант, Первый Московский государственный
медицинский университет им. И.М. Сеченова
Kishkan92@bk.ru

STATE OF MICROBIOCENOSIS OF THE MOUTH OF THE CONSUMERS OF ELECTRONIC CIGARETTES AND TOBACCO HEATING SYSTEMS

A. Kishkan

Summary. Introduction. The use of e-cigarettes and tobacco heating systems is often perceived and promoted as a safer alternative to cigarette smoking due to the absence or reduction of harmful combustion products. However, to date, there is a small amount of research proving the safety of electronic cigarettes and tobacco heating systems, including their effect on the appearance of opportunistic microflora in the oral fluid.

The purpose of the study: to evaluate the effect of smoking electronic cigarettes and tobacco heating systems on the features of changes in the microbiocenosis of the oral cavity.

Materials and methods. During planned sanitation or when applying for dental care, 150 people aged 18 to 55 were screened. All patients were divided into 3 equal groups of 50 people. Study group 1 included ES smokers (ES group), study group 2 consisted of SNT smokers (SNT group). The control group consisted of visually clinically healthy individuals not using ES/SNT (control group).

The study analyzed the results of an express analysis of the oral fluid on the state of microbiocenosis of the oral cavity.

Statistical analysis of the data was carried out on the basis of the Microsoft Excel application packages and using specialized software STATISTICA 64 ver.20.0. (StatSoft Inc.).

Results. According to the data obtained, the absolute content of acetic acid (C2) below the norm was noted both among patients of the SNT group and in the ES group, while the absolute content of propionic (C3) and butyric (C4) acids among patients of the SNT group and the ES group exceeded norm. The indicators of the relative total content of isoacids in the ES and SNT groups were statistically significantly higher than in patients in the control group and in the norm. The indicators of the relative total content of isoacids to straight-chain acids (isoSp/Cn) in the ES and SNT groups were statistically significantly lower than in patients in the control group and in the norm. The ratio of isoC5 — isovaleric to C5 — valeric acid in the total content of C2–C6 was sharply increased in the groups of patients-smokers and was statistically significantly

Аннотация. Введение. Использование электронных сигарет и систем нагревания табака часто воспринимается и пропагандируется как более безопасная альтернатива курению сигарет из-за отсутствия или уменьшения количества вредных продуктов горения. Тем не менее, на сегодняшний день существует незначительный объем исследований, доказывающих безопасность электронных сигарет и систем нагревания табака, в том числе их влияние на появление условно-патогенной микрофлоры ротовой жидкости.

Цель исследования: оценить влияние курения электронных сигарет и систем нагревания табака на особенности изменения microbiocenosis ротовой полости.

Материалы и методы. Во время плановой санации или при обращении за стоматологической помощью проведен скрининг 150 лиц в возрасте от 18 до 55 лет. Все пациенты были разделены на 3 равные группы по 50 человек. В 1 группу исследования были включены пациенты-курильщики ЭС (группа ЭС), 2 группу исследования составили пациенты-курильщики СНТ (группа СНТ). Контрольная группа состояла из визуально клинически здоровых лиц, не употребляющих ЭС/СНТ (группа контроля).

В исследовании были проанализированы результаты экспресс-анализа ротовой жидкости на состояние microbiocenosis полости рта.

Статистический анализ данных проводили на основании пакетов прикладных программ Microsoft Excel и с помощью специализированного программного обеспечения STATISTICA 64 ver.20.0. (StatSoft Inc.).

Полученные результаты. Согласно полученным данным, показатели абсолютного содержания уксусной кислоты (С2) ниже нормы отмечены как среди пациентов группы СНТ, так и в группе ЭС, тогда как показатели абсолютного содержания пропионовой (С3) и масляной (С4) кислот среди пациентов группы СНТ и группы ЭС превышали норму. Показатели относительного суммарного содержания изокислот в группах ЭС и СНТ были статистически достоверно выше, чем у пациентов в группе контроля и при норме. Показатели относительного суммарного содержания изокислот к кислотам с неразветвленной цепью (изоSp/Cn) в группах ЭС и СНТ были статистически достоверно ниже, чем у пациентов в группе контроля и при норме. Отношение isoC5 — изовалериановой к C5 — валериановой кислоте в суммарном содержании C2–C6 было резко повышено в группах пациентов-курильщиков и были статистически достоверно выше, чем у пациентов в группе контроля. Показатели анаэробного индекса ниже нормы

higher than in patients in the control group. Anaerobic index values below the norm were noted both among patients in the SNT group and in the ES group. Statistically significant differences between groups were revealed both in the general comparison of intergroup indicators and in pairwise comparison of groups for all analyzed parameters at the level of $p < 0.05$.

Findings. The results of the study proved that the use of ES and SNT is a negative factor causing a violation of the normal microbiocenosis of the oral cavity, which is characterized by an imbalance in the concentration of metabolites produced by the microflora of certain genera. These patients have an increased risk of development and/or progression of inflammatory diseases of the oral mucosa and odontogenic diseases.

Keywords: smoking, oral microbiocenosis, oral health, electronic cigarette, vaping, tobacco heating system.

Введение

Полость рта содержит вторую по величине концентрацию бактерий у человека, где присутствует более 700 видов, и является домом для патогенных и комменсальных бактерий. Первоначально комменсальные бактерии взаимодействуют друг с другом, образуя сообщества биопленок на поверхности зубов. Эти биопленки часто бывают чрезвычайно плотными при выращивании на твердых поверхностях. Комменсальные виды, в основном стрептококки, играют роль в предотвращении многих заболеваний полости рта, таких как гингивит, кариес и заболевания пародонта. Исследования показали, что комменсальные оральные стрептококки способствуют оральному гомеостазу за счет таких факторов, как стабильность pH, при этом замедляя рост патогенных видов [6]. Дисбиоз в микробных сообществах из-за нарушения гомеостаза в результате факторов окружающей среды и метаболических факторов хозяина может способствовать заболеваниям полости рта, включая кариес, пародонтит и др., что приводит к необходимому медицинскому вмешательству с целью избежать потери зубов и системных заболеваний.

Некоторые бактерии ротовой полости, например, *Porphyromonas gingivalis* и *Fusobacterium nucleatum*, являются основными виновниками деструкции пародонта, тесно связанной с прогрессированием заболевания. Многофакторная патогенность заболеваний пародонта включает сложное взаимодействие микробных патогенов, иммунного ответа хозяина, а также генетических факторов и факторов окружающей среды, стимулирующих разрушение тканей хозяина и потерю костной массы. Высвобождение иммунных медиаторов хозяина

отмечены как среди пациентов группы СНТ, так и в группе ЭС. Выявлены статистически достоверные отличия между группами как при общем сравнении межгрупповых показателей, так и при попарном сравнении групп по всем анализируемым параметрам на уровне $p < 0,05$.

Выводы. Результаты исследования доказали, что использование ЭС и СНТ является негативным фактором, обуславливающим нарушение нормального микробиоценоза ротовой полости, что характеризуется дисбалансом концентрации метаболитов, продуцирующихся микрофлорой определенных родов. У этих пациентов повышен риск развития и/или прогрессирования воспалительных заболеваний слизистой оболочки рта и одонтогенных заболеваний.

Ключевые слова: курение, микробиоценоз полости рта, здоровье полости рта, электронная сигарета, вейпинг, система нагревания табака.

в качестве первичного ответа на эти условно-патогенные микроорганизмы (патобионты) и их метаболиты способствует болезненному состоянию пародонта.

Отмечено, что у курильщиков обычных сигарет выявлен более патогенный профиль микробиома полости рта, чем у некурящих. Кроме того, было показано, что курение вызывает дозозависимые количественные и качественные изменения в поддесневой микрофлоре (увеличение численности *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia*, которые также способствуют созданию неблагоприятной среды для пародонта [3].

Негорючие формы употребления табака, такие как электронные сигареты (ЭС) и системы нагревания табака (СНТ), появляются и привлекают внимание в нескольких странах. Эти продукты были предложены в качестве потенциально менее рискованных альтернатив традиционным сжигаемым табачным изделиям, таким как сигареты, на основании сообщений об улучшении уровней биомаркеров воздействия табачного дыма и биологического эффекта. Тогда как более поздние исследования показали, что доставка никотина и выделение некоторых токсических веществ из электронных сигарет последнего поколения были сопоставимы с таковыми из табачного дыма [4]. Долгосрочное воздействие ЭС и СНТ на здоровье остается малоизученным.

Из-за распространения ЭС и СНТ по всему миру, но неясной безопасности, органы здравоохранения высказали различные мнения относительно потенциальных последствий для здоровья, связанных с их использованием, и некоторые международные организации предупредили о необходимости постоянного наблюдения за потенциальными побочными эффектами ЭС и СНТ

Таблица 1. Результаты биохимического экспресс-анализа ротовой жидкости на состояние микробиоценоза полости рта у пациентов анализируемых групп

Группы пациентов	p C2 мг/г	p C3 мг/г	P C4 мг/г	Суммарное содержание Изо Cn изоC4+изоC5+ изоC6 мг/г	изо Cn/Cn	изоC5/C5 ед.	Анаэроб- ный индекс (C2-C4) ед.
Норма	0.89 ± 0.045	0.16 ± 0.008	0.04 ± 0.002	0.191 ± 0.01	1.30 ± 0.065	до 3.1	-0.223 ± 0.0112
Группа ЭС	0.647 ± 0.043*	0.178 ± 0,008*	0,052 ± 0.003*	0.237 ± 0.03*	0,94 ± 0,111*	7.312 ± 9.54*	-0,292 ± 0,014*
Группа СНТ	0.588 ± 0.021***	0,198 ± 0,009***	0,074 ± 0,005***	0.311 ± 0.042***	0,731 ± 0,323***	15.848 ± 11.38***	-0,373 ± 0,016***
Группа контроля	0,794 ± 0,008**	0.14 ± 0.003**	0.03 ± 0.0001**	0.197 ± 0.021**	1,24 ± 0,07**	2,8 ± 0,6**	-0.216 ± 0.004**

Примечания: * p < 0,05 при сравнении показателей между группой контроля и группой ЭС; ** p < 0,05 при сравнении показателей между группой контроля и группой СНТ; *** p < 0,05 при сравнении показателей между группой ЭС и группой СНТ.

в долгосрочной перспективе. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) стремилась оценить риски для здоровья, связанные с ЭС и СНТ, и предложила стратегии, позволяющие сбалансировать их преимущества и риски. Однако на сегодняшний день между международными органами здравоохранения не было достигнуто никакого соглашения, которое могло бы ускорить достижение общего консенсуса. В отличие от обычных сигарет, влияние ЭС и СНТ на состав микробного сообщества слизистой рта так же недостаточно изучено, что обусловило актуальность направления настоящего исследования.

Цель исследования

Оценить влияние курения электронных сигарет и систем нагревания табака на особенности изменения микробиоценоза ротовой полости.

Материалы и методы

Во время плановой санации или при обращении за стоматологической помощью проведен скрининг 150 лиц в возрасте от 18 до 55 лет. Все пациенты были разделены на 3 равные группы. Пациенты в зависимости анамнестических характеристик по употреблению ЭС/СНТ были разделены на 2 равные группы по 50 человек. В 1 группу исследования были включены пациенты-курильщики ЭС (группа ЭС), 2 группу исследования составили пациенты-курильщики СНТ (группа СНТ). Контрольная группа состояла из визуально клинически здоровых лиц, не употребляющих ЭС/СНТ (группа контроля). Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

В исследовании были проанализированы результаты экспресс-анализа ротовой жидкости на состояние

микробиоценоза полости рта на основании исследования концентрации метаболитов микрофлоры в виде летучих жирных кислот (уксусная, пропионовая, масляная) и анаэробного индекса. Биохимический анализ ротовой жидкости осуществляли на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе Labline-100, Westmedica (Австрия).

Показатели результатов в данном исследовании были обработаны путем вычисления средней выборочной (X), оценки стандартного отклонения (S), максимальных и минимальных значений признака, медианного значения. При анализе и интерпретации эмпирических данных применялись t-критерий Стьюдента для попарного сравнения и H-критерий Краскала-Уоллеса для сравнения трех несвязанных выборок. Все статистические расчеты выполняли при уровне значимости 95% (p=0,05). Статистический анализ данных проводили на основании пакетов прикладных программ Microsoft Excel и с помощью специализированного программного обеспечения STATISTICA 64 ver.20.0. (StatSoft Inc).

Полученные результаты

Полученные данные экспресс-анализа ротовой жидкости на состояние микробиоценоза полости рта на основании исследования концентрации метаболитов микрофлоры в виде летучих жирных кислот и анаэробного индекса показали результаты, представленные в таблице 1.

Согласно полученным данным, минимальные показатели абсолютного содержания уксусной кислоты (C2) отмечены среди пациентов группы СНТ, где этот показатель составил 0.588 ± 0.021 мг/г, максимальные показате-

тели — в группе контроля — $0,794 \pm 0,008$ мг/г (при норме 0.89 ± 0.045 мг/г). В группе ЭС этот показатель так же был ниже нормы и составил 0.647 ± 0.043 мг/г. Тогда как показатели абсолютного содержания пропионовой (С3) и масляной (С4) кислот среди пациентов группы СНТ были максимальными, где показатель их содержания в ротовой жидкости составил $0,198 \pm 0,009$ мг/г и $0.074 \pm 0,005$ мг/г соответственно; минимальные показатели выявлены в группе контроля — 0.14 ± 0.003 мг/г для С3 и 0.03 ± 0.0001 мг/г для С4 (при норме 0.16 ± 0.008 мг/г и 0.04 ± 0.002 мг/г соответственно). В группе ЭС этот показатель так же превышал пределы допустимой нормы и составил $0.178 \pm 0,008$ мг/г для С3 и $0,052 \pm 0.003$ мг/г для С4.

Показатели относительного суммарного содержания изокилот в группах ЭС и СНТ были статистически достоверно выше, чем у пациентов в группе контроля и составили 0.237 ± 0.03 мг/г (в группе ЭС), 0.311 ± 0.042 мг/г (в группе СНТ) и 0.197 ± 0.021 мг/г (в группе контроля) при норме 0.191 ± 0.01 мг/г. Показатели относительного суммарного содержания изокилот к кислотам с неразветвленной цепью (изоСп/Сп) в группах ЭС и СНТ были статистически достоверно ниже, чем у пациентов в группе контроля и составили $0,94 \pm 0,111$ (в группе ЭС), $0,731 \pm 0,323$ (в группе СНТ) и $1,24 \pm 0,07$ (в группе контроля) при норме 1.30 ± 0.065 мг/г. Отношение изоС5 — изовалериановой к С5 — валериановой кислоте в суммарном содержании С2 С6 было резко повышено в группах пациентов-курильщиков и были статистически достоверно выше, чем у пациентов в группе контроля, соответственно составив 7.312 ± 9.54 ед. (в группе ЭС), 15.848 ± 11.38 ед. (в группе СНТ) и $2,8 \pm 0,6$ ед. (в группе контроля) при норме до 3.1 ед. Минимальные показатели анаэробного индекса отмечены среди пациентов группы СНТ, где этот показатель составил $-0,373 \pm 0,016$ ед., максимальные показатели выявлены в группе контроля — -0.216 ± 0.004 ед. (при норме -0.223 ± 0.0112 ед.). В группе ЭС этот показатель так же был ниже нормы и составил $-0,292 \pm 0,014$ ед.

Следует отметить статистически достоверные отличия между группами как при общем сравнении межгрупповых показателей, так и при попарном сравнении групп по всем анализируемым параметрам на уровне $p < 0,05$.

Обсуждение

Заболевания, связанные с курением, имеют сложную этиологию и включают несколько механизмов, влияющих на многие системы органов, в том числе и ЖКТ. Хроническое воздействие вызывает изменения на клеточном и тканевом уровне, что приводит к физи-

ологическим изменениям и нарушению многих биологических процессов, способствуя проявлению болезни. Окислительный стресс и воспаление играют решающую роль в развитии и прогрессировании основных заболеваний органов и тканей ротовой полости, связанных с курением.

В исследованиях зарубежных групп ученых установлено влияние сигаретного дыма, жидкостей для ЭС, их аэрозолей с добавлением никотина и без него на микробиоценоз полости рта. Результаты показывают, что аэрозоли, генерируемые ЭС, оказывают меньше вредного воздействия на оральные комменсальные стрептококки по сравнению с обычным сигаретным дымом [3, 7]. Кроме того, показано, что ароматизированные жидкости для ЭС более вредны для роста этих бактерий по сравнению с неароматизированными аналогами [5]. Другие исследования показали, что нормальные антимикробные свойства слюны могут быть нарушены у пользователей ЭС, что приводит к снижению уровня перорального лизоцима и лактоферрина [2]. Другое исследование продемонстрировало изменение состава микробиоты полости рта в результате вейпинга. Кроме того, изменения бета-разнообразия (т.е. количества видов и обилия каждого) микробиома полости рта, такие как более высокие уровни *Porphyromonas* и *Veillonella*, увеличивают риск инфекции [8]. В результате изменения бета-разнообразия микробных сообществ полости рта возникает риск преобладания патогенных видов (т.е. дисбактериоза) и нарушения гомеостаза, что может способствовать возникновению заболеваний полости рта, и в конечном итоге может привести к более серьезным системным осложнениям. Тем не менее, в доступной нам литературе мы не нашли поперечных исследований, сравнивающих ЭС и СНТ, как между собой в их влиянии на микробиоценоз полости рта, так и в сравнении с таковым у некурящих лиц.

Известно, что различные концентрации метаболитов продуцируются микрофлорой определенных родов. Аэробные микроорганизмы (*Escherichia coli*, стрепто- и стафилококки) являются продуцентами уксусной кислоты и изокилот; анаэробные микроорганизмы — бактерии рода *Bacteroides* и др. — пропионовой кислоты; бактерии рода *Clostridium* и *Fusobacterium* и др. — масляной кислоты [1]. Становится очевидным, что данные микробные метаболиты имеют определенную диагностическую ценность, позволяя судить о качественном и количественном характерах микрофлоры, функциональном состоянии системы (органа) и могут служить отображением различных процессов, происходящих в полости рта.

Наше исследование показало, что лица, использовавшие СНТ, имели наихудшие значения изучаемых

показателей концентрации метаболитов. В связи с этим можно отметить, что, как среди пациентов группы СНТ (в большей степени), так и среди пациентов группы ЭС (в меньшей степени выраженности) отмечается снижение метаболической активности молочнокислой флоры (бифидо- и лактобактерий). Активность сапрофитных штаммов кокковой флоры: стрептококков (*Streptococcus salivarius*, *Str. Mutans* и др. штаммов *Str. Spp.*) и стафилококков повышена. Отмечается повышенная активность других микроорганизмов факультативной и остаточной в основном аэробной микрофлоры, с вероятным появлением условно-патогенных (в т.ч. гемолитических) штаммов микроорганизмов, в частности родов стрептококков. Выявлена сниженная активность отдельных штаммов аэробных бактерий — продуцентов изоокислот: сапрофитных штаммов стрепто- и стафилококков, при снижении активности анаэробных микроорганизмов, обладающих протеолитической активностью (в частности родов бактероидов, клостридий и т.д.). В анаэробном спектре отмечается снижение численности и активности анаэробных популяций — бактероидов, вейлонелл, пропионибактерий, при снижении активности облигатных и сапрофитных клостридиальных штам-

мов, фузобактерий. Окислительно-восстановительный потенциал внутритривисной среды смещен в область слабо отрицательных значений, что свидетельствует о дисбалансе аэробных/анаэробных популяций микроорганизмов (с активизацией факультативных и, возможно, остаточных (условно-патогенных) в основном аэробных микроорганизмов).

ВЫВОДЫ

Результаты исследования доказали, что использование ЭС и СНТ является негативным фактором, обуславливающим дисбаланс концентрации метаболитов, продуцируются микрофлорой определенных родов, что может свидетельствовать о повышенном риске развития и/или поддержании воспалительных заболеваний слизистой оболочки рта и одонтогенных заболеваний (кариес, периодонтиты).

По нашему мнению, дальнейшие клинические исследования в этом направлении будут перспективными для оказания профессиональной стоматологической помощи пациентам этих групп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свиринов В.В., Семенов Э.К., Ардатская М.Д. и др. Способ диагностики и лечения заболеваний полости рта, сопровождающихся нарушениями микрофлоры. М., 2005. 25 с.
2. Cichońska D, Kusiak A, Kochańska B, Ochocińska J, Świetlik D. Influence of Electronic Cigarettes on Selected Antibacterial Properties of Saliva. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Nov 12;16(22):4433. doi: 10.3390/ijerph16224433.
3. Cuadra GA, Smith MT, Nelson JM, Loh EK, Palazzolo DL. A Comparison of Flavorless Electronic Cigarette-Generated Aerosol and Conventional Cigarette Smoke on the Survival and Growth of Common Oral Commensal Streptococci. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 May 14;16(10):1669. doi: 10.3390/ijerph16101669.
4. Eltorai AE, Choi AR, Eltorai AS. Impact of Electronic Cigarettes on Various Organ Systems. *Respir Care*. 2019 Mar;64(3):328–336. doi: 10.4187/respcare.06300. Epub 2018 Nov 6.
5. Fischman JS, Sista S, Lee D, Cuadra GA, Palazzolo DL. Flavorless vs. Flavored Electronic Cigarette-Generated Aerosol and E-Liquid on the Growth of Common Oral Commensal Streptococci. *Front Physiol*. 2020 Nov 23;11:585416. doi: 10.3389/fphys.2020.585416.
6. Herrero ER, Slomka V, Bernaerts K, Boon N, Hernandez-Sanabria E, Passoni BB, Quirynen M, Teughels W. Antimicrobial effects of commensal oral species are regulated by environmental factors. *J Dent*. 2016 Apr;47:23–33. doi: 10.1016/j.jdent.2016.02.007. Epub 2016 Feb 11.
7. Nelson JM, Cuadra GA, Palazzolo DL. A Comparison of Flavorless Electronic Cigarette-Generated Aerosol and Conventional Cigarette Smoke on the Planktonic Growth of Common Oral Commensal Streptococci. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Dec 9;16(24):5004. doi: 10.3390/ijerph16245004
8. Pushalkar S, Paul B, Li Q, Yang J, Vasconcelos R, Makwana S, González JM, Shah S, Xie C, Janal MN, Queiroz E, Bederoff M, Leinwand J, Solarewicz J, Xu F, Aboseria E, Guo Y, Aguillo D, Gomez C, Kamer A, Shelley D, Aphinyanaphongs Y, Barber C, Gordon T, Corby P, Li X, Saxena D. Electronic Cigarette Aerosol Modulates the Oral Microbiome and Increases Risk of Infection. *iScience*. 2020 Mar 27;23(3):100884. doi: 10.1016/j.isci.2020.100884. Epub 2020 Feb 26.

© Кишкань Алексей Алексеевич (Kishkan92@bk.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ КРИОАБЛАЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ В СОЧЕТАНИИ С КОРРЕКЦИЕЙ ПОРОКА МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА

THE IMMEDIATE RESULTS OF ATRIAL CRYOABLATION PROCEDURE IN COMBINATION WITH CORRECTION OF MITRAL VALVE PATHOLOGY

**R. Komarov
D. Matsuganov
M. Nuzhdin**

Summary. Aim. To analyze the immediate and long-term results of the atrial cryoablation procedure in combination with the correction of mitral valve defect, to determine the predictors that increase the risk of recurrence of atrial fibrillation, as well as to determine the critical points of quantitative indicators that affect the increase in risk.

Methods. During the period from January 2019 to December 2021, on the basis of the Department of Cardiac Surgery of the Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, 45 patients, including 22 men, 23 women, with mitral valve pathology of various etiologies complicated by atrial fibrillation, underwent atrial cryoablation procedure using the «MAZEIV» technique, as well as surgical correction of mitral valve defect valves with/without correction of tricuspid valve defect. The diagnostic significance of quantitative signs in predicting a certain outcome was carried out using the ROC curve analysis method, survival analysis was carried out using the Cox regression method.

Results. Freedom from atrial fibrillation within 2 years after surgery was 88.9%. A prognostic model describing freedom from atrial fibrillation depending on the impact of risk factors has been developed. Long-term persistent and permanent forms of atrial fibrillation are accompanied by an increase in the risk of recurrence of atrial fibrillation by 2.36 times, an increase in the size of the left atrium by 1 centimeter — an increase in the risk of recurrence of atrial fibrillation by 3.56 times, an increase in the left ventricle end-systolic diameter by 1 centimeter — an increase in the risk of recurrence of atrial fibrillation by 3.16 times.

Conclusion. According to the results of our study, it was proved that the size of the left atrium is more than 5.45 cm, the left ventricle end-systolic diameter is more than 3.85 cm, as well as long-term persistent and permanent forms of atrial fibrillation were associated with a high risk of recurrence. This prognostic model will allow a more thorough approach to the selection of patients for the procedure of atrial cryoablation.

Keywords: mitral valve, atrial cryoablation, AF recurrence.

Комаров Роман Николаевич

Доктор медицинских наук, профессор, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Директор клиники аортальной и сердечно-сосудистой хирургии, врач-сердечно-сосудистый хирург

komarovroman@rambler.ru

Мацуганов Денис Алексеевич

Врач-сердечно-сосудистый хирург, ГБУЗ

«Челябинская областная клиническая больница»
denmacug@yandex.ru

Нуждин Михаил Дмитриевич

Кандидат медицинских наук, врач-сердечно-сосудистый хирург, ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница»
mikhailnuzhdin@hotmail.ru

Аннотация. Основные положения. Впервые определены факторы, влияющие на риск рецидива фибрилляции предсердий в отдаленном периоде, определены критические точки для количественных показателей, увеличивающих риск рецидива фибрилляции предсердий. На основании проведенного исследования получены знания, которые позволят более тщательно отбирать пациентов на процедуру криоабляции, что улучшит послеоперационные результаты.

Цель. Провести анализ непосредственных и отдаленных результатов выполнения процедуры криоабляции предсердий в сочетании с коррекцией порока митрального клапана, определить предикторы, увеличивающие риск рецидива фибрилляции предсердий, а также определить критические точки количественных показателей, влияющих на увеличение риска.

Методы. За период с января 2019 года по декабрь 2021 года на базе отделения кардиохирургии ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница» 45 пациентам, из которых 22 мужчины, 23 женщины, с патологией митрального клапана различной этиологии, осложненной фибрилляцией предсердий, была выполнена процедура криоабляции предсердий по методике «лабиринтIV», а также хирургическая коррекция порока митрального клапана с/без коррекции порока трикуспидального клапана. Диагностическая значимость количественных признаков при прогнозировании определенного исхода проводилась по методу анализа ROC-кривых, анализ выживаемости — с помощью метода регрессии Кокса.

Результаты. Свобода от фибрилляции предсердий в течение 2-х лет после операции составила 88,9%. Разработана прогностическая модель, описывающая свободу от фибрилляции предсердий в зависимости от воздействия факторов риска. Длительно персистирующая и постоянная формы фибрилляции предсердий сопровождаются ростом риска рецидива фибрилляции предсердий в 2,36 раза, увеличение размера левого предсер-



Список сокращений

ЛП — левое предсердие, КСР ЛЖ — конечно-систолический размер левого желудочка, ФП — фибрилляция предсердий, ИК — искусственное кровообращение, ПП — правое предсердие, МК — митральный клапан, ТК — трикуспидальный клапан, ФВ — фракция выброса, ОР — отношение рисков, ДИ — 95% доверительный интервал.

Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) является независимым предиктором заболеваемости и смертности терапевтических и хирургических больных. Принимая во внимание широкий спектр патологических состояний, лежащих в основе данной аритмии, а также ряд ассоциированных состояний, ФП нередко усугубляет клиническое течение у пациентов с различной кардиальной патологией, так как сопровождается каскадом процессов анатомического и электрофизиологического ремоделирования. Вызывая клинические проявления и дискомфорт у большинства пациентов, ФП также опасна своими тромбоэмболическими осложнениями. Так, 20–30% от общего числа острых нарушений мозгового кровообращения связаны с ФП, а риск развития данного осложнения у пациентов с ФП увеличивается в 5 раз [1, с. 196; 2, с. 22; 3, с. 32]. Одним из методов хирургического лечения ФП является процедура «лабиринт», предложенная J.L. Cox и соавт. в 1991 г. [4, с. 102]. В группе пациентов с митральными пороками ФП встречается в 14 раз чаще, чем в общей популяции, являясь как осложнением, так и причиной развития митрального порока. Хирургическое лечение имеет неоспоримое преимущество перед другими методами восстановления и удержания синусового ритма, сочетанное выполнение операции «Лабиринт» играет важную роль в повышении

для на 1 сантиметр — ростом риска рецидива фибрилляции предсердий в 3,56 раза, увеличение конечно-систолического размера левого желудочка на 1 сантиметр — ростом риска рецидива фибрилляции предсердий в 3,16 раза.

Заключение. По результатам нашего исследования было доказано, что размер левого предсердия более 5,45 см., конечно-систолический размер левого желудочка более 3,85 см., а также длительно персистирующая и постоянная формы фибрилляции предсердий были сопряжены с высоким риском рецидива. Данная прогностическая модель позволит более тщательно подходить к отбору пациентов на процедуру криоабляции предсердий.

Ключевые слова: митральный клапан, криоабляция предсердий, рецидив ФП.

показателей выживаемости и качества жизни пациентов при коррекции митрального порока [5, с. 54]. В настоящее время коррекция патологии митрального клапана в сочетании с операцией «Лабиринт» является эффективным и безопасным методом хирургического лечения больных с митральными пороками, осложненными ФП [6, с. 65].

Данный метод имеет несколько модификаций, однако применение новых альтернативных источников энергии для получения трансмурального повреждения предсердий, а, следовательно, для достижения биоэлектрической изоляции предсердий, привело к созданию еще одной модификации — операции «лабиринт IV», которую описали R.J. Damiano и S.L. Gaynor в 2004 г. [7, с. 30]. Так, системы для криоабляции используют доставку гелия, аргона или оксида азота под высоким давлением (до 300 атм.) для осуществления охлаждения тканей до температуры от $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вначале, это приводит к разрушению клеток миокарда, за которым следует воспаление и фиброз, что способствует полному разрушению клеток однородного характера на всю толщину стенки предсердий, без повреждения стромальных соединительнотканых элементов [8, с. 270].

Гипотеза исследования заключается в том, что большие размеры левого предсердия, длительно персистирующая и постоянная формы ФП увеличивают риск рецидива в послеоперационном периоде после процедуры криоабляции предсердий. Поэтому целью настоящего исследования является анализ выполнения процедуры криоабляции предсердий в сочетании с коррекцией порока митрального клапана, определить предикторы, увеличивающие риск рецидива ФП, а также определить критические точки количественных показателей, влияющих на увеличение риска.

Материал и методы

За период с января 2019 года по декабрь 2021 года на базе отделения кардиохирургии ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница» 45 пациентам, из которых 22 мужчины, 23 женщины, с патологией митрального клапана различной этиологии, осложненной фибрилляцией предсердий, была выполнена процедура криоабляции предсердий по методике «лабиринт IV», а также хирургическая коррекция порока митрального клапана с/без коррекции порока трикуспидального клапана. Критериями включения были: возраст пациентов старше 18 лет, пациенты с наличием, в соответствии с рекомендациями Европейского Общества Кардиологов и Европейской Ассоциации кардиоторакальных хирургов [9, с. 69], показаний к коррекции клапанной патологии. Фибрилляция предсердий. Письменное информированное согласие пациентов на проведение исследования. Отсутствие критериев исключения.

Критериями исключения были: пациенты с поражением коронарных артерий; повторный характер вмешательства; сопутствующее поражение аортального клапана; расширение восходящего отдела аорты; поражение артерий верхних и нижних конечностей, артерий шеи; аневризма левого желудочка, малоинвазивное вмешательство на митральном клапане.

Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинской Декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом Челябинской областной клинической больницы. До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Хирургическое лечение. Выполнялась срединная стернотомия. Осуществлялся доступ к сердцу. После системной гепаринизации подключали аппарат ИК по схеме аорта — верхняя и нижняя полые вены. Кардиоплегия кровяная/кустадиол неселективная антеградная/ретроградная. Доступ к левым отделам через борозду Сондергарда. Далее, в некоторых случаях, выполняли резекцию ушка ЛП. После этого выполняли процедуру криоабляции предсердий при помощи системы Cardioblate CryoFlex (Medtronic Inc.) с применением аргона, последовательно формировали аблационные линии по 2 минуты с охлаждением до -140 – -160 °C на левом предсердии для формирования box-lesion, выполняли линию на митральный истмус от нижнего угла разреза ЛП к проекции между P2-P3 сегментами задней створки МК в течение 2 минут, выполняли линию на коронарный синус от нижнего угла разреза ЛП эпикардially в течение 1 минуты. Выполняли вмеша-

тельство на МК, ушивание разреза ЛП. Далее формировали аблационные линии на ПП по 1 минуте на 11 и 13 часов от разреза ПП к фиброзному кольцу ТК, перпендикулярная линия от разреза ПП к межклавальной линии в течение 1 минуты. Далее выполнялась пластика ТК, ушивание разреза ПП. После профилактики воздушной эмболии снимался зажим с аорты. После стабилизации гемодинамики останавливали ИК. Нейтрализовали гепарин, выполняли гемостаз. Операцию заканчивали дренированием полости перикарда, переднего средостения и послойно ушивали рану.

Статистическая обработка. Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программы IBM SPSS Statistics v.26 (разработчик — IBM Corporation).

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовался критерий Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50), а также показатели асимметрии и эксцесса.

В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, полученные данные объединялись в вариационные ряды, в которых проводился расчет средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD).

Совокупности количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, описывались при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1-Q3).

Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей.

Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определенного исхода, в том числе вероятности наступления исхода, применялся метод анализа ROC-кривых. С его помощью определялось оптимальное разделяющее значение количественного признака, позволяющее классифицировать пациентов по степени риска исхода, обладающее наилучшим сочетанием чувствительности и специфичности. Качество прогностической модели, полученной данным методом, оценивалось исходя из значений площади под ROC-кривой со стандартной ошибкой и 95% доверительным интервалом (ДИ) и уровня статистической значимости.

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов на дооперационном этапе.

Показатель	Результат
Возраст, полных лет, M±SD	60,78±8,67
Мужчин, абс. (%)	22 (48,9%)
Женщин, абс. (%)	23 (51,1%)
ИМТ, кг/м ² , M±SD	27,77±4,35
Риск EuroScoreII, баллов, Me [Q1-Q3]	2,84 [2,36–3,37]
Длительность ФП, месяцев, Me [Q1-Q3]	14 [9–60]
Форма ФП:	
-пароксизмальная, абс. (%)	5 (11,1%)
-персистирующая, абс. (%)	15 (33,3%)
-длительно персистирующая, абс. (%)	17 (37,8%)
-постоянная, абс. (%)	8 (17,8%)
Размер ЛП, сантиметров, M±SD	5,39±0,55
Индекс ОЛП, мл/м ² , Me [Q1-Q3]	58 [49–72]
Фракция выброса ЛЖ, %, Me [Q1-Q3]	62 [55–66]
СДПЖ, мм рт.ст., M±SD	51,91±10,25
КДР ЛЖ, сантиметров, M±SD	5,73±0,75
КСР ЛЖ, сантиметров, M±SD	3,85±0,66
Размер ПП, сантиметров, Me [Q1-Q3]	5,7 [5,3–6,4]

Примечание: M — среднее арифметическое значение, SD — стандартное отклонение, Me — медиана, Q1-Q3 — интерквартильный размах от 1-го до 3-го квартилей, EuroScoreII — система для оценки риска неблагоприятного исхода при кардиохирургических операциях.

Сокращение: ИМТ — индекс массы тела, ФП — фибрилляция предсердий, ЛП — левое предсердие, ОЛП — объем левого предсердия, ЛЖ — левый желудочек, СДПЖ — систолическое давление правого желудочка, КДР ЛЖ — конечно-диастолический размер левого желудочка, КСР ЛЖ — конечно-систолический размер левого желудочка, ПП — правое предсердие.

Таблица 2. Характеристика интраоперационного этапа.

Показатель	Результат
Вмешательства на МК:	
-протезирование МК, абс. (%)	19 (42,2%)
-пластика МК, абс. (%)	26 (57,8%)
Пластика ТК, абс. (%)	29 (64,4%)
ВПА, минут, Me [Q1-Q3]	151 [139–164]
ВИК, минут, Me [Q1-Q3]	199 [184–214]
Резекция ушка ЛП, абс. (%)	39 (86,7%)

Примечание: M — среднее значение, SD — стандартное отклонение, Me — медиана, Q1-Q3 — интерквартильный размах от 1-го до 3-го квартилей.

Сокращение: МК — митральный клапан, ТК — трикуспидальный клапан, ВПА — время пережатия аорты, ВИК — время искусственного кровообращения, ЛП — левое предсердие, абс.— абсолютное значение.

Анализ выживаемости пациентов проводился по методу регрессии Кокса, подразумевающему прогнозирование риска наступления события для рассматриваемого объекта и оценку влияния заранее определенных независимых переменных (предикторов) на этот риск. Риск рассматривается как функция, зависящая от времени.

Базовые предположения, лежащие в основе метода, состоят в том, что все объясняющие переменные независимы, линейно влияют на риск наступления события, а также что риски наступления события для любых двух объектов в любой отрезок времени пропорциональны.

Таблица 3. Характеристика раннего послеоперационного периода.

Показатель	Результат
Дренажные потери за 1-е сутки, мл., M±SD	341,11±102,05
Время ИВЛ, часов, Me [Q1-Q3]	8 [6-11,5]
Длительность временной ЭКС, суток, Me [Q1-Q3]	3 [2-6]
Синусовый ритм на момент выписки, абс. (%)	40 (88,9%)
Нестабильность грудины, абс. (%)	1 (2,2%)
Почечная недостаточность, абс. (%)	2 (4,4%)
Потребность в постоянном ЭКС, абс. (%)	2 (4,4%)

Примечание: M — среднее значение, SD — стандартное отклонение, Me — медиана, Q1-Q3 — интерквартильный размах от 1-го до 3-го квартилей.

Сокращение: ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ЭКС — электрокардиостимулятор, абс. — абсолютное значение.

Таблица 4. Характеристики предикторов модели (1).

Предиктор	HR; 95% ДИ	p
Форма ФП	2,36; 1,11–5,03	0,026*
Размер ЛП	3,56; 1,01–12,51	0,048*
КСР ЛЖ	3,16; 1,07–9,29	0,036*

Примечание: * — влияние предиктора статистически значимо (p<0,05).

Сокращение: КСР ЛЖ — конечно-систолический размер левого желудочка, ЛП — левое предсердие, ФП — фибрилляция предсердий, HR — отношение рисков, ДИ — доверительный интервал, p — p-значение, это вероятность получить значение равное наблюдаемому или более нетипичное по сравнению с наблюдаемым при условии, что нулевая гипотеза верна.

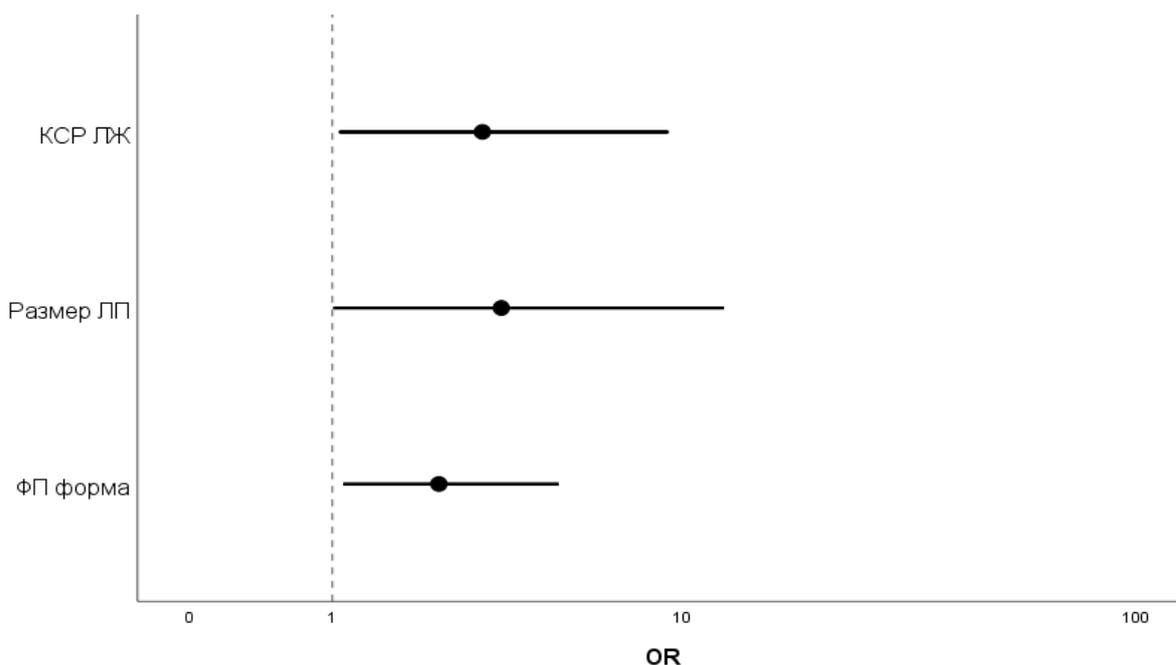


Рис. 1. Характеристики предикторов модели (1).

Примечание: черные точки показывают взвешенный размер эффекта, черные отрезки — 95% ДИ. Сокращение: КСР ЛЖ — конечно-систолический размер левого желудочка, ЛП — левое предсердие, ФП — фибрилляция предсердий, OR — отношение рисков, ДИ — доверительный интервал.

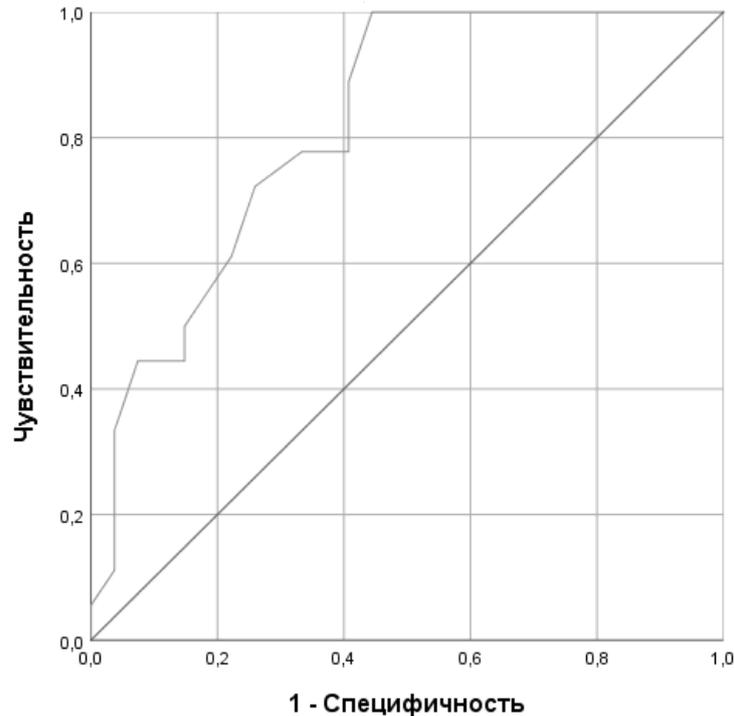


Рис. 2. ROC — кривая, характеризующая зависимость вероятности рецидива ФП от размера ЛП.

Формула, по которой рассчитывается риск наступления события для i -того объекта, имеет вид:

$$h_i(t) = h_0 * \exp(\beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_n x_{in})$$

где $h_0(t)$ — базовый риск, одинаковый для всех объектов; β_1, \dots, β_n — коэффициенты; x_1, \dots, x_n — независимые переменные, предикторы.

При увеличении значения предиктора x_j на единицу (при отсутствии изменений значений остальных переменных) риск наступления события возрастает в $\exp(\beta_j)$ раз.

Критическим уровнем статистической значимости принимался $p < 0,05$.

Результаты

Средний возраст пациентов составил $60,78 \pm 8,67$ лет. Длительность ФП до операции составила 14 [9, с. 60] месяцев, преимущественно персистирующая — 15 (33,3%) и длительно персистирующая формы ФП — 17 (37,8%). Средний размер ЛП составил $5,39 \pm 0,55$ сантиметров. Клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

Преимущественным методом коррекции порока митрального клапана была его пластика — 26 (57,8%).

Пластика ТК выполнена в 29 (64,4%) случаях. Резекция ушка ЛП выполнена в 39 (86,7%) случаях, с целью профилактики тромбообразования. Характеристика интраоперационного этапа представлена в таблице 2.

Дренажные потери за 1-е сутки после операции составили $341,11 \pm 102,05$ мл. Время искусственной вентиляции легких (ИВЛ) — 8 [6–11,5] часов. Синусовый ритм на момент выписки — у 40 (88,9%) пациентов. Осложнениями раннего послеоперационного этапа были: почечная недостаточность — 2 (4,4%) случая, потребность в постоянном ЭКС — 2 (4,4%) случая и нестабильность грудины — 1 (2,2%) случай. Характеристика раннего послеоперационного периода представлена в таблице 3.

С помощью метода регрессии Кокса была разработана прогностическая модель, описывающая изменения безрецидивной выживаемости пациентов в зависимости от воздействия факторов риска. В результате отбора предикторов методом исключения по Вальду была получена следующая модель (1).

$$h_i(t) = h_0(t) * \exp(0,86 * X_{\text{ФФП}} + 1,27 * X_{\text{РЛП}} + 1,15 * X_{\text{КСРЛЖ}}), \quad (1)$$

где $h_i(t)$ — риск рецидива ФП у i -го пациента (в %), $h_0(t)$ — базовый риск рецидива ФП при нулевом значении предикторов (в %), $X_{\text{ФФП}}$ — форма ФП (1 — па-

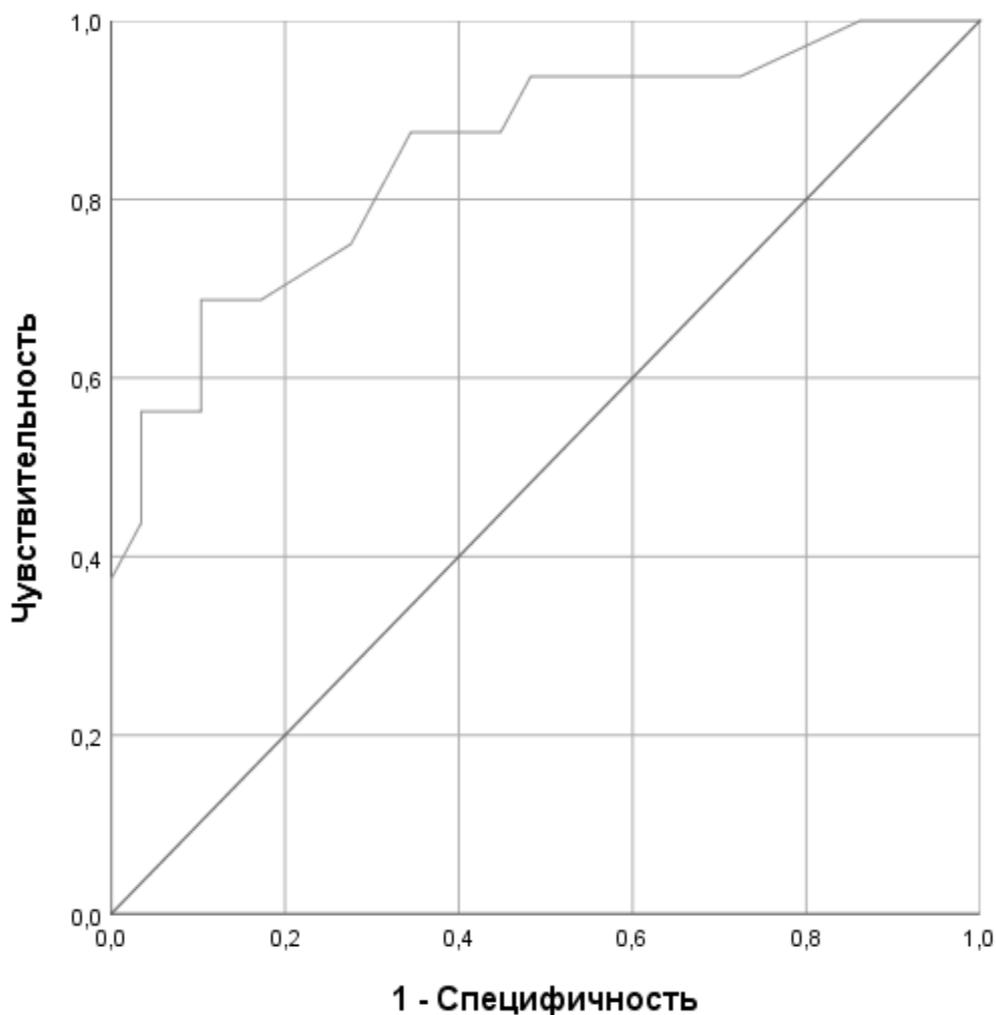


Рис. 3. ROC — кривая, характеризующая зависимость вероятности рецидива ФП от КСР ЛЖ.

роксимальная, 2 — персистирующая, 3 — длительно персистирующая, 4 — постоянная), $X_{рлп}$ — размер ЛП (сантиметров), $X_{КСРЛЖ}$ — конечно-систолический размер ЛЖ (сантиметров).

Полученная регрессионная модель была статистически значимой ($p=0,02$). Значения базового риска рецидива ФП для модели (1): 6 месяцев — $2,7 \cdot 10^{-3}$, 12 месяцев — $8,7 \cdot 10^{-3}$, 18 месяцев — $1,3 \cdot 10^{-2}$, 24 месяцев — 0,04.

Каждый из факторов, вошедших в модель (1), характеризовался прямым влиянием на риск рецидива ФП. Характеристики предикторов модели представлены в таблице 4 и на рисунке 1.

В соответствии с таблицей 4 и рисунком 1, длительно персистирующая и постоянная формы ФП сопровождаются ростом риска рецидива в 2,36 раза, увеличение

размера ЛП на 1 сантиметр — ростом риска рецидива ФП в 3,56 раза, увеличение КСР ЛЖ на 1 сантиметр — ростом риска рецидива ФП в 3,16 раза.

При оценке зависимости вероятности рецидива ФП от значений размера левого предсердия была получена следующая ROC-кривая (рис. 2).

Значение размера левого предсердия в точке cut-off составило 5,45см: при размере ЛП от 5,45 и выше отмечался высокий риск рецидива ФП, а при более низких значениях — риск рецидива ФП признавался низким. Чувствительность и специфичность модели при выбранном пороговом значении размера ЛП составляла 72,2% и 74,1%, соответственно.

При оценке зависимости вероятности рецидива ФП от значений конечно-систолического размера ЛЖ была получена следующая ROC-кривая (рис. 3).

Полученная ROC-кривая характеризовалась значением AUC, равным $0,85 \pm 0,06$ (95% ДИ: 0,73–0,97). Модель была статистически значимой ($p < 0,001$).

Значение КСР ЛЖ в точке cut-off составило 3,85 см: при КСР ЛЖ от 3,85 и выше отмечался высокий риск рецидива ФП, а при более низких значениях — риск рецидива ФП признавался низким. Чувствительность и специфичность модели при выбранном пороговом значении размера ЛП составляла 75,0% и 72,4%, соответственно.

Обсуждение

Множество исследований показывают различные показатели послеоперационного восстановления синусового ритма. Так, в своем рандомизированном, одноцентровом исследовании Jinsong Han et al. показали, что восстановление синусового ритма в раннем послеоперационном периоде у пациентов с персистирующей и длительно персистирующей формами ФП составило 85% после процедуры криоабляции предсердий и коррекции порока митрального клапана [10, с. 682]. В исследовании James S Gammie et al., в течение года после операции синусовый ритм был сохранен у 95% пациентов, перенесших процедуру криоабляции предсердий [11, с. 84]. В другом исследовании того же James S Gammie et al., авторы показали, что свобода от ФП в течение 3-х лет после процедуры криоабляции предсердий составила 60%, из которых пациенты с персистирующей формой на дооперационном этапе имели синусовый ритм 85%, а с постоянной формой ФП — 47% [12, с. 14].

В настоящем исследовании показано, что свобода от ФП в течение 2-х лет после операции составила 88,9%. Данный результат мы считаем приемлемым и сопоставимым с результатами других авторов.

По мнению J. Cox et al., наиболее значимым фактором риска повторного развития ФП после операции «Лабиринт» является продолжительность ее анамнеза [13, с. 77]. Согласно исследованию A. Itoh et al., факторами риска развития рецидивов ФП после операции «Лабиринт» могут быть ранее выполненные вмешательства по поводу ФП, размер левого предсердия более 70 мм, анамнез ФП более 10 лет, а также вольтаж f-волны в отведении V1 менее 0,1 мВ [14, с. 36]. В работе U.O. von Oppell et al. высказывается предположение о взаимосвязи между степенью неудачи в достижении синусового ритма при выполнении операции «Лабиринт» и длительностью анамнеза ФП [15, с. 57]. Согласно результатам исследования А.Ю. Багдасаряна и соавт. выполнение процедуры «лабиринт IV», пациентам с клапанными пороками сердца является

предпочтительным у всех больных с размерами левого предсердия менее 55 мм, потому как среди пациентов с размером левого предсердия менее 55 мм отсутствие эффекта процедуры по восстановлению синусового ритма констатировано в 4,5% случаев, с размером левого предсердия более 55 мм — в 50% случаев [16, с. 114]. По данным исследования Н.А. Трофимова и соавт. абляция предсердий по схеме «лабиринт IV» является эффективным и безопасным способом хирургической коррекции ФП у пациентов с пороками митрального клапана и высокой легочной гипертензией, позволяет сохранить синусовый ритм у 66% пациентов в послеоперационном периоде при наблюдении в течение 2 лет. Предикторами рецидива ФП после процедуры «лабиринт IV» являются исходная дилатация полости левого предсердия более 5,5 см и давность аритмического анамнеза более 2 лет [17, с. 510]. В исследовании Takashi Kakuta et al., выполнивших 352 процедуры криоабляции предсердий, предикторами возврата ФП после процедуры были: вольтаж f-волны в отведении V1 менее 0,1 мВ, длительность ФП, отсутствие вмешательства на митральном клапане, а также дооперационная недостаточность трикуспидального клапана [18, с. 35].

Прогностическая роль длительности ФП, размеров ЛП и объема ЛП является достаточно изученной. Однако, по результатам нашего исследования выявлено, что КСР ЛЖ является одним из основных предикторов рецидива ФП. Влияние данного фактора недостаточно изучено и встречается только лишь в незначительном количестве статей. Так, Zoltan A Szalay et al. в своем исследовании определили наличие митрального стеноза, длительного анамнеза ФП и увеличенного КСР ЛЖ как независимых предикторов неэффективности операции «Лабиринт III» [19, с. 5]. Также, Ying-Chieh Liao et al. в своем исследовании показали, что увеличенные размеры ЛП и КСР ЛЖ являются независимыми предикторами прогрессирования пароксизмальной формы ФП после процедуры катетерной абляции [20, с. 27]. Стоит отметить, что прогностическая значимость КСР ЛЖ при выполнении процедуры криоабляции предсердий по методике «Лабиринт IV» в сочетании с коррекцией порока МК не представлено.

В нашем исследовании выявлено, что длительно персистирующая и постоянная формы ФП сопровождаются ростом риска рецидива ФП в 2,36 раза, увеличение размера ЛП на 1 сантиметр — ростом риска рецидива ФП в 3,56 раза, увеличение КСР ЛЖ на 1 сантиметр — ростом риска рецидива ФП в 3,16 раза. Данные особенности определяют увеличение риска рецидива ФП после перенесенного оперативного вмешательства, что соответствует нашей гипотезе.

Заключение

Различные модификации операции «Лабиринт» с использованием современных технологий позволяют ее выполнить быстро и с высокой степенью эффективности. Тем не менее, отсутствие явных предикторов, позволяющих на дооперационном этапе отобрать пациентов к процедуре криоабляции делают вопрос поиска данных факторов одним из основополагающих. По результатам нашего исследования разработана прогностическая модель, описывающая изменения безрецидивной выживаемости пациентов в зависимости от воздействия факторов риска, которая может широко использоваться при расчете риска на дооперационном этапе у пациентов с любой формой ФП и патологией митрального клапана различной этиологии. При размере ЛП более 5,45 см., КСР ЛЖ более 3,85 см., а также длительно персистирующая и постоянная формы ФП были сопряжены с высоким риском рецидива. Данная прогностическая модель позволит более тщательно подходить к отбору пациентов на процедуру криоабляции предсердий. Свобода от ФП в течение 2-х лет после операции составила 88,9%.

Вклад авторов

Комаров Р.Н.— обоснование концепции исследования, планирование исследования, обобщение данных литературы, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования.

Мацуганов Д.А.— обоснование концепции исследования, планирование исследования, проведение сравнительного анализа, обобщение результатов исследования, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования, разработка дизайна обзорно-аналитического исследования, работа с экспертной комиссией и этическим комитетом для принятия положительного решения о публикации данной статьи.

Нуждин М.Д.— обоснование концепции исследования, планирование исследования, анализ и обобщение данных литературы, сбор данных литературы, сбор и систематизация данных, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Morillo C.A. et al. Atrial fibrillation: the current epidemic. *Journal of Geriatric Cardiology*. 2017; 14: 195–203.
- Lippi G., Sanchis-Gomar F., Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: an increasing epidemic and public health challenge. *International Journal of Stroke*. 2021; 16 (2): 217–21. DOI: 10.1177/1747493019897870.
- Karnik A.K. et al. Epidemiology of Atrial Fibrillation and Heart Failure A Growing and Important Problem. *Cardiol. Clin.* 2019; 37: 119–29. DOI: 10.1016/j.ccl.2019.01.001.
- Cox J.L., Boineau J.P., Schuessler R.B. Successful surgical treatment of atrial fibrillation. Review and clinical update. *J. Am. Med. Assoc.* 1991; 266: 1976–98.
- Lee R. et al. Midterm survival in patients treated for atrial fibrillation: a propensity-matched comparison to patients without a history of atrial fibrillation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2012; 143 (6): 1341–51. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2012.02.006.
- Бокерия Л.А., Шенгелия Л.Д. Лечение фибрилляции предсердий. Часть I. Долгий путь к «золотому стандарту». *Анналы аритмологии*. 2014; 11 (2): 64–76. DOI: 10.15275/annaritm.2014.2.1
- Damiano R.J. Atrial fibrillation ablation during mitral valve surgery using the Atricure™ device/R.J. Damiano, S.L. Gaynor // *Operat. Techn. Thorac. Cardiovasc. Surg.* — 2004. — Vol. 9. — P. 24–33.
- Comas G.M. An overview of energy sources in clinical use for the ablation of atrial fibrillation / G.M. Comas, Y. Imren, M.R. Williams // *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* — 2007. — Vol. 224, № 3. — P. 267–273.
- Vahanian A. et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2021): the Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *European Heart Journal* (2021) 00, 1–72. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>.
- Jinsong Han et al. Comparison of CryoMaze With Cut-and-Sew Maze Concomitant With Mitral Valve Surgery: A Randomized Noninferiority Trial. *Thorac Cardiovasc Surg.* Autumn 2021;33(3):680–688. doi: 10.1053/j.semtcvs.2020.11.028.
- James S Gammie et al. A multi-institutional experience with the CryoMaze procedure. *Ann Thorac Surg.* 2005 Sep;80(3):876–80; discussion 880. doi: 10.1016/j.athoracsur.2005.03.075.
- James S Gammie et al. Intermediate-term outcomes of surgical atrial fibrillation correction with the CryoMaze procedure. *Ann Thorac Surg.* 2009 May;87(5):1452–8; discussion 1458–9. doi: 10.1016/j.athoracsur.2009.02.008.
- Cox J.L. et al. An 8 ½ year clinical experience with surgery for atrial fibrillation. *Ann. Surg.* 1996; 224: 267–75.
- Itoh A. et al. The impact of mitral valve surgery combined with maze procedure. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2006; 29 (6): 1030–35. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.03.028.
- Von Oppell U.O. et al. Mitral valve surgery plus concomitant atrial fibrillation ablation is superior to mitral valve surgery alone with an intensive rhythm control strategy. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2009; 35 (4): 641–50. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.12.042.
- Багдасарян А.Ю. и соавт. Интраоперационная абляция при хирургическом лечении приобретенных пороков сердца, осложненных персистирующей фибрилляцией предсердий. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2016; 58 (2): 106–113.

17. Трофимов Н.А. и соавт. Опыт хирургического лечения фибрилляции предсердий у пациентов с пороком митрального клапана, осложненным высокой легочной гипертензией. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2019; 61 (6): 506–514. DOI: 10.24022/0236–2791–2019–61–6–506–514].
18. Takashi Kakuta et al. Contemporary outcomes of the concomitant CryoMaze procedure. Interact Cardiovasc Thorac Surg. 2019 Jul 1;29(1):28–34. doi: 10.1093/icvts/ivz029.
19. Zoltan A Szalay et al. Predictors of Failure to Cure Atrial Fibrillation with the Mini-Maze Operation. January 2004. Journal of Cardiac Surgery. 19(1):1–6. DOI:10.1111/j.0886–0440.2004.04001.
20. Ying-Chieh Liao et al. Left Atrial Size and Left Ventricular End-Systolic Dimension Predict the Progression of Paroxysmal Atrial Fibrillation After Catheter Ablation. J Cardiovasc Electrophysiol. 2017 Jan;28(1):23–30. doi: 10.1111/jce.13115.

© Комаров Роман Николаевич (komarovroman@rambler.ru), Мацуганов Денис Алексеевич (denmacug@yandex.ru),
Нуждин Михаил Дмитриевич (mikhailnuzhdin@hotmail.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Первый МГМУ им. И.М. Сеченова

ДООПЕРАЦИОННАЯ ОЦЕНКА РИСКА РЕЦИДИВА ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ ПОСЛЕ ПРОЦЕДУРЫ КРИОАБЛАЦИИ ПО СХЕМЕ «ЛАБИРИНТ» И КОРРЕКЦИИ ПОРОКА МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА С ПОМОЩЬЮ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

PREOPERATIVE ASSESSMENT OF THE RISK ATRIAL FIBRILLATION RECURRENCE AFTER THE CRYOABLATION PROCEDURE AND CORRECTION OF MITRAL VALVE PATHOLOGY USING A PROGNOSTIC MODEL (PILOT STUDY)

**R. Komarov
D. Matsuganov
M. Nuzhdin**

Summary. Aim. Checking the efficiency of the developed model in predicting the risk of recurrence of atrial fibrillation (AF) when selecting patients for the biatrial cryoablation procedure in combination with correction of mitral valve (MV) pathology in the early postoperative period.

Methods. This pilot study included 16 patients with different forms of AF and mitral valve pathology. All patients the risk of recurrence of AF at the preoperative stage were evaluated. After that the final plan of surgical intervention was determined. Group 1 (n=8) consisted of patients who underwent a combined intervention — biatrial cryoablation procedure and correction of MV pathology, group 2 (n=8) — patients who underwent isolated correction of MV pathology. The rhythm was evaluated according to ECG data, the effect of the operation was evaluated according to TTE data. The duration of observation was 4 weeks.

Results. Sinus rhythm was restored in 87.5% of patients in the MV+cryoablation group at the time of discharge, AF was preserved in 100% of cases in the MV group. Only the time of cardiopulmonary bypass was significantly differed, due the time to spent on cryoablation. It is worth noting longer need for temporary pacemaker in patients of the MV group of 8.5 ± 5.07 versus 3.63 ± 3.51 in the MV+cryoablation group ($p=0.04$). In the early postoperative period, in 100% of cases, AF paroxysm occurred among patients of the MV group: 8 (100%) patients compared with 2 (25.0%) patients of the MV+ablation group ($p=0.008$).

Комаров Роман Николаевич

Доктор медицинских наук, профессор, Первый МГМУ
им. И.М. Сеченова, Директор клиники аортальной
и сердечно-сосудистой хирургии, врач-сердечно-
сосудистый хирург
komarovroman@rambler.ru

Мацуганов Денис Алексеевич

Врач-сердечно-сосудистый хирург, ГБУЗ
«Челябинская областная клиническая больница»
denmascug@yandex.ru

Нуждин Михаил Дмитриевич

Кандидат медицинских наук, врач-сердечно-
сосудистый хирург, ГБУЗ «Челябинская областная
клиническая больница»
mikhailnuzhdin@hotmail.ru

Аннотация. Цель. проверка работоспособности разработанной модели в прогнозировании риска рецидива фибрилляции предсердий (ФП) при отборе пациентов на процедуру биатриальной криоабляции по схеме «Лабиринт» в сочетании с коррекцией порока митрального клапана (МК) в раннем послеоперационном периоде.

Материал и методы. В данное пилотное исследование было включено 16 пациентов с различными формами ФП и патологией митрального клапана.

Всем пациентам на дооперационном этапе оценивался риск рецидива ФП на основании которого определялся окончательный план хирургического вмешательства. Группу 1 (n=8) составили пациенты, которым выполнили сочетанное вмешательство — биатриальную криоабляцию по схеме «Лабиринт» и коррекцию порока митрального клапана, группу 2 (n=8) — пациенты, перенесшие изолированную коррекцию порока митрального клапана. Оценку ритма производили по данным ЭКГ, эффект от операции оценивали по данным ЭХО-КГ. Длительность наблюдения составила 4 недели.

Результаты. У 87,5% пациентов в группе МК+абляция на момент выписки был восстановлен синусовый ритм, в группе МК в 100% случаев была сохранена ФП. По данным интраоперационного периода, значимо различалось только время ИК, что обусловлено временем, затраченным на выполнение криоабляции. Стоит отметить более длительную потребность во временном ЭЖС у пациентов МК группы $8,5 \pm 5,07$ против $3,63 \pm 3,51$ в группе МК+абляция ($p=0,04$). В раннем послеоперационном периоде в 100% случаев среди пациентов МК группы возник пароксизм ФП: 8 (100%) пациентов в сравнении с 2 (25,0%) пациентами МК+абляция группы ($p=0,008$).

Conclusion. Biatrial cryoablation procedure is a safe and effective procedure. According to the data of the early postoperative period, restore of the sinus rhythm was registered in 87.5% of cases. The model developed by us for assessing the risk of recurrence of AF, which allows selecting patients for this surgical intervention at the preoperative stage, has demonstrated its efficiency.

Keywords: atrial fibrillation, atrial cryoablation, mitral valve defect, risk prediction, AF recurrence.

ФП является наиболее распространенным нарушением ритма сердца во всем мире [1, с. 15]. Данная аритмия тесно связана с распространенными сопутствующими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, которые имеют общие факторы риска [2, с. 5]. По данным эпидемиологических исследований в мире более 37 млн. человек страдают ФП [3, с. 859]. По результатам Фрамингемского исследования, риск развития ФП у лиц старше 55 лет составляет 37% [4, с. 45]. Выживаемость в течение 10 лет среди пациентов с ФП в возрасте от 55 до 74 лет составляет 42,4% для женщин и 38,5% для мужчин по сравнению с 79,1% для женщин и 70% для мужчин без ФП [5]. Помимо клинических проявлений, при ФП высока частота тромбоэмболических осложнений. Так, около 20–30% от общего числа острых нарушений мозгового кровообращения связаны с ФП, а риск развития данного осложнения у пациентов с ФП увеличивается в 5 раз [6, с. 200; 7, с. 24; 8, с. 34].

Одним из методов хирургического лечения ФП является процедура «лабиринт», основоположником которой является J.L. Cox и соавт. в 1991 г. [9, с. 102]. У пациентов с митральными пороками сердца ФП встречается в 14 раз чаще, чем в общей популяции, одновременно являясь следствием и предиктором прогрессирования порока МК. Коррекция патологии МК в сочетании с операцией «лабиринт» является эффективным и безопасным методом хирургического лечения больных с данной сочетанной патологией [10, с. 70].

Важным в минимизации риска рецидивов ФП в раннем и отдаленном послеоперационных периодах, является выявление предикторов еще на дооперационном этапе и отбор пациентов на сочетанное оперативное лечение. Существует большое количество различных факторов, которые увеличивают риск рецидива ФП: длительный анамнез ФП, атриомегалия [11, с. 36; 12, с. 55; 13, с. 107; 14, с. 509], вольтаж f-волны в отведении V1 менее 0,1мВ [15, с. 30], индекс объема левого предсердия и индекс массы тела [16, с. 71; 17, с. 116], а также конечно-систолический размер левого желудочка [18,

Заклучение. Биатриальная криоабляция по схеме «Лабиринт» является безопасной и эффективной процедурой. По данным раннего послеоперационного периода восстановление синусового ритма зарегистрировано в 87,5% случаев. Разработанная нами модель оценки риска рецидива ФП, позволяющая отобрать пациентов на данное оперативное вмешательство на дооперационном этапе, продемонстрировала свою работоспособность.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий, криоабляция предсердий, порок митрального клапана, прогнозирование риска, рецидив ФП.

с. 4; 19, с. 29]. Однако, на сегодняшний день, отсутствуют однозначные данные в отношении предикторов, которые указывали бы на высокий риск рецидива ФП в послеоперационном периоде.

Цель

Целью данного пилотного исследования явилось проверка работоспособности прогностической модели в прогнозировании риска ФП при отборе пациентов на процедуру биатриальной криоабляции по схеме «Лабиринт» в сочетании с коррекцией порока МК.

Материал и методы

В исследование было включено 16 пациентов, прооперированных в отделении кардиохирургии ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница» за период с января по июнь 2022 года, соответствующих критериям включения: гемодинамически значимый порок МК, требующий хирургической коррекции; ФП любой формы в анамнезе. Критерии исключения были стандартными для проведения исследований данной направленности. Показания определялись согласно клиническим рекомендациям 2020 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS [20, с. 375] и рекомендациям 2020 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease [21]. На дооперационном этапе всем пациентам выполнялась двухмерная эхокардиография для уточнения патологии клапанного аппарата, определения размеров полостей и толщины стенок сердца, фракции выброса (ФВ) ЛЖ. Оценка ритма сердца проводилась на основании записи 12-канальной электрокардиографии. Суточное мониторирование электрокардиограммы (СМ ЭКГ) производилось перед выпиской из стационара и в конце исследования. Длительность наблюдения составила 4 недели.

Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом, все пациенты подписали информированное согласие.

Таблица 1. Исходные характеристики пациентов.

Показатель	МК+абляция (n=8)	МК (n=8)	p
Возраст, лет	58,0±7,73	65,9±6,22	0,04*
Длительность ФП, мес.	29,7±16,2	37,7±5,17	0,22
Форма ФП:			
Персистирующая	2 (25,0%)	-	0,22
Длительно персистирующая	1 (12,5%)	3 (37,5%)	
Постоянная	5 (62,5%)	5 (62,5%)	
Размер ЛП, см.	5,36±0,48	5,84±0,39	0,03*
ИОЛП, мл./м ²	63,3±20,6	64,2±12,6	0,91
КДР ЛЖ, см.	5,78±0,71	6,11±0,59	0,33
КСР ЛЖ, см.	3,85±0,47	4,30±0,61	0,12
Размер ПП, см.	5,85±0,99	6,29±0,67	0,32
ФВ ЛЖ,%	60,7±6,09	56,1±8,81	0,24
Сахарный диабет, n	1 (12,5%)	2 (25,0%)	0,99
Риск рецидива ФП,%	14,03±1,56	15,5±0,49	0,03*

Примечание: ФП — фибрилляция предсердий, ЛП — левое предсердие, ИОЛП — индекс объема левого предсердия, КДР ЛЖ — конечно-диастолический размер левого желудочка, КСР ЛЖ — конечно-систолический размер левого желудочка, ПП — правое предсердие, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка.

* — влияние предиктора статистически значимо (p<0,05)

$$hi(t) = 0,86 * X_{ФФП} + 1,27 * X_{РЛП} + 1,15 * X_{КСРЛЖ}$$

Рис. 1. Прогностическая модель оценки риска рецидива ФП после биатриальной криоабляции по схеме «Лабиринт» в сочетании с коррекцией порока МК.

Примечание: hi(t) — риск рецидива ФП у i-го пациента (в %), X_{ФФП} — форма ФП (1 — пароксизмальная, 2 — персистирующая, 3 — длительно персистирующая, 4 — постоянная), X_{РЛП} — размер ЛП (сантиметров), X_{КСРЛЖ} — конечно-систолический размер ЛЖ (сантиметров).

Первичные конечные точки:

1. Безопасность, включающая в себя: 30-дневную летальность и серьезные события послеоперационного периода (инфаркт миокарда, ОНМК, кровотечения, потребность в постоянном ЭКС)
2. Эффективность — синусовый ритм на момент выписки.

У всех пациентов на дооперационном этапе риск рецидива ФП был рассчитан согласно разработанной нами прогностической модели (рисунок 1).

Пациенты были разделены на две группы: МК+абляция группа (n=8) — пациенты, подвергшиеся процедуре биатриальной криоабляции в сочетании с коррекцией порока МК; МК группа (n=8) — пациенты, которым выполнили изолированное вмешательство на МК. На дооперационном этапе пациенты отличались по возрасту (p=0,04), размеру левого предсердия (p=0,03), а также по данным оцененного нами риска рецидива ФП (p=0,03) (табл. 1).

Результаты

По данным интраоперационного периода, значимо различалось только время ИК, что обусловлено временем, затраченным на выполнение криоабляции. Доля протезирований МК составила 62,5% в группе МК+абляция и 75,0% в группе МК соответственно (p=0,55). По характеру сопутствующих вмешательств группы не отличались (табл. 2).

Госпитальной летальности в обеих группах не было зарегистрировано. Стоит отметить более длительную потребность во временном ЭКС у пациентов МК группы (p=0,04). Также, обращает на себя внимание частота пароксизмов ФП в МК группе — 100% против 25% в МК+абляция группе (p=0,008), в остальном — не было отмечено достоверной межгрупповой разницы ни по характеру, ни по количеству осложнений раннего послеоперационного периода (табл. 3).

В раннем послеоперационном периоде в 100% случаев среди пациентов МК группы возник пароксизм

Таблица 2. Данные интраоперационного периода.

Показатель	МК+абляция (n=8)	МК (n=8)	p
Время пережатия аорты, мин.	126,8±28,1	108,2±21,0	0,15
ИК, мин.	177,1±17,2	150,6±27,1	0,04*
Протезирование МК, n (%)	5 (62,5%)	6 (75,0%)	0,55
Пластика МК, n (%)	3 (37,5%)	2 (25,0%)	0,31
Пластика ТК, n (%)	5 (62,5%)	8 (100%)	0,06
Резекция ушка ЛП, n (%)	6 (75,0%)	3 (37,5%)	0,13

Примечание: ИК — искусственное кровообращение, МК — митральный клапан, ТК — трикуспидальный клапан, ЛП — левое предсердие
* — влияние предиктора статистически значимо (p<0,05)

Таблица 3. Данные раннего послеоперационного периода.

Показатель	МК+абляция (n=8)	МК (n=8)	p
ИВЛ, часов	9,0±2,5	9,9±2,8	0,47
Кровопотеря по дренажам за 1-е сутки, мл.	375,0±84,5	371,2±180,1	0,96
Длительность временной ЭКС, дней	3,63±3,51	8,5±5,07	0,04*
Временная ЭКС, n (%)	6 (75,0%)	7 (87,5%)	0,52
ОНМК/ТИА, n (%)	0	0	-
Реооперация ввиду кровотечения, n (%)	0	1 (12,5%)	0,31
Острая почечная недостаточность, n (%)	0	0	-
Хирургическая инфекция, n (%)	0	1 (12,5%)	0,31
Ранние пароксизмы ФП, n (%)	2 (25,0%)	8 (100%)	0,008*
Имплантация ЭКС, n (%)	0	0	-
Срок госпитализации, дней	26,0±9,62	28,5±12,7	0,66
Синусовый ритм на момент выписки, n (%)	7 (87,5%)	0	<0,001*

Примечание: ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ЭКС — электрокардиостимуляция, МК — митральный клапан, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ТИА — транзиторная ишемическая атака, ФП — фибрилляция предсердий, ЭКС — электрокардиостимулятор.

* — влияние предиктора статистически значимо (p<0,05)

ФП: 8 (100%) пациентов против 2 (25,0%) пациентов МК+абляция группы (p=0,008).

В группе МК+абляция, в 2 случаях в связи с развившимся пароксизмом ФП была выполнена электрическая кардиоверсия: в одном случае — с успешным восстановлением синусового ритма, в другом — с сохранением ФП.

На момент выписки у пациентов МК+абляция группы, был восстановлен синусовый ритм — 7 (87,5%) пациентов, а у МК группы — в 100% случаев была ФП (p<0,001).

Пациентам, которые имели пароксизмы ФП на госпитальном этапе на срок до 3 месяцев после операции была назначена антиаритмическая терапия: амиодарон у 2 пациентов группы МК+абляция. Всем пациентам в МК группе был назначен метопролол.

Обсуждение

В настоящее время врачи кардиохирургического профиля имеют большой опыт выполнения процедуры абляции при проведении сопутствующих вмешательств на сердце. Обращает на себя внимание отсутствие единого подхода к определению показаний к данной процедуре, а также методику ее выполнения [22]. По данным современной литературы процедура абляции, увеличивает общую продолжительность искусственного кровообращения и время пережатия аорты, но специалисты, выполняющие большое количество подобных вмешательств высказывают мнение, что грамотная организация интраоперационного этапа и использование современного оборудования позволяют минимизировать временные потери, а следовательно, не увеличивать уровень летальности и частоту послеоперационных осложнений [23, с. 65; 24, с. 20; 25, с. 14]. Таким образом, абляция предсердий является процеду-

рой безопасной и может выполняться у широкого контингента пациентов.

Вопрос о существующей отрицательной взаимосвязи между вероятностью удержания синусового ритма и длительностью ФП, размером ЛП и объемом ЛП является достаточно изученным. Однако, среди авторов, нет однозначного размера ЛП или его объема, при котором будет определен порог эффективности данной процедуры. Поэтому, выполнение процедуры абляции будет определяться с учетом дооперационного состояния пациента и объема предстоящего оперативного вмешательства. Вопрос о влиянии длительности ФП на результат процедуры абляции остается дискуссионным, потому как невозможно абсолютно точно трактовать момент манифестации ФП. В дополнении к этому, процессы ремоделирования стенок и полостей предсердий под воздействием сопутствующего порока сердца и аритмии, с большей долей вероятности, носят индивидуальный хронологический характер.

По результатам нашего исследования выявлено, что КСР ЛЖ является одним из основных предикторов рецидива ФП и входит в нашу прогностическую модель. Однако, влияние данного фактора недостаточно изучено и встречается в незначительном количестве статей. Zoltan A Szalay et al. определили наличие митрального стеноза, длительного анамнеза ФП и увеличенного КСР ЛЖ как независимых предикторов неэффективности операции «Лабиринт III» [18, с. 3]. Ying-Chieh Liao et al. показали, что увеличенные размеры ЛП и КСР ЛЖ являются независимыми предикторами прогрессирования пароксизмальной формы ФП после процедуры катетерной абляции [19, с. 24]. Обращает на себя внимание тот факт, что прогностическая значимость КСР ЛЖ при выполнении процедуры абляции предсердий по схеме «Лабиринт» методом криодеструкции в сочетании с коррекцией порока МК не представлена.

Существует множество вариантов выполнения процедуры абляции в различных клиниках мира, что обусловлено, во-первых, постоянным появлением новых инструментов и методов энергии для формирования линий изоляции проведения, а во-вторых, попыткой снизить объем и инвазивность воздействий в целях минимизации хирургического риска. Немаловажным вопросом, с учетом современных социально-экономических реалий, яв-

ляется стоимость проведения хирургического лечения. Минимизировать затраты на выполнение операции без снижения ее эффективности, на наш взгляд, можно с помощью прогнозирования риска рецидива и отбора пациентов на абляцию еще на дооперационном этапе.

ВЫВОД

1. Процедура биатриальной криоабляции по схеме «Лабиринт» у пациентов с приобретенными пороками сердца не повышает риска оперативного вмешательства, несмотря на увеличение длительности искусственного кровообращения и пережатия аорты.
2. Процедура биатриальной криоабляции по схеме «Лабиринт» является эффективным методом восстановления синусового ритма у больных с сопутствующим вмешательством на митральном клапане (87,5%) в среднесрочной перспективе.
3. Вероятность восстановления и удержания синусового ритма после абляции характеризуется отчетливой отрицательной зависимостью от размеров левого предсердия, длительностью анамнеза, а также размеров конечно-систолического размера левого желудочка.

Вклад авторов:

Комаров Р.Н.— обоснование концепции исследования, планирование исследования, обобщение данных литературы, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования.

Мацуганов Д.А.— обоснование концепции исследования, планирование исследования, проведение сравнительного анализа, обобщение результатов исследования, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования, разработка дизайна обзорно-аналитического исследования, работа с экспертной комиссией и этическим комитетом для принятия положительного решения о публикации данной статьи.

Нуждин М.Д.— обоснование концепции исследования, планирование исследования, анализ и обобщение данных литературы, сбор данных литературы, сбор и систематизация данных, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Juqian Zhang et al. Epidemiology of Atrial Fibrillation: Geographic/Ecological Risk Factors, Age, Sex, Genetics. Card Electrophysiol Clin. 2021 Mar;13(1):1–23. doi: 10.1016/j.ccep.2020.10.010.
2. Jelena Kornej et al. Epidemiology of Atrial Fibrillation in the 21st Century: Novel Methods and New Insights. Circ Res. 2020 Jun 19; 127(1):4–20. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.120.316340.

3. GBD2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018;392(10159):1789858. doi:10.1016/S01406736(18)322797.
4. Weng L.C. et al. Genetic predisposition, clinical risk factor burden, and lifetime risk of atrial fibrillation. *Circulation*. 2018;137(10):102738. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.117.031431.
5. Emdin C.A. et al. Atrial fibrillation as risk factor for cardiovascular disease and death in women compared with men: systematic review and metaanalysis of cohort studies. *BMJ*. 2016;532: h7013. doi:10.1136/bmj.h7013.
6. Morillo C.A. et al. Atrial fibrillation: the current epidemic. *Journal of Geriatric Cardiology*. 2017; 14: 195–203.
7. Lippi G. et al. Global epidemiology of atrial fibrillation: an increasing epidemic and public health challenge. *International Journal of Stroke*. 2021; 16 (2): 217–21. DOI: 10.1177/1747493019897870.
8. Karnik A.K. et al. Epidemiology of Atrial Fibrillation and Heart Failure A Growing and Important Problem. *Cardiol. Clin.* 2019; 37: 119–29. DOI: 10.1016/j.ccl.2019.01.001.
9. Cox J.L. et al. Successful surgical treatment of atrial fibrillation. Review and clinical update. *J. Am. Med. Assoc.* 1991; 266: 1976–98.
10. Бокерия Л.А. и соавт. Лечение фибрилляции предсердий. Часть I. Долгий путь к «золотому стандарту». *Анналы аритмологии*. 2014; 11 (2): 64–76. DOI: 10.15275/annaritmol.2014.2.1
11. Itoh A. et al. The impact of mitral valve surgery combined with maze procedure. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2006; 29 (6): 1030–35. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.03.028.
12. Von Oppell U.O. et al. Mitral valve surgery plus concomitant atrial fibrillation ablation is superior to mitral valve surgery alone with an intensive rhythm control strategy. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2009; 35 (4): 641–50. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.12.042.
13. Багдасарян А.Ю. и соавт. Интраоперационная абляция при хирургическом лечении приобретенных пороков сердца, осложненных персистирующей фибрилляцией предсердий. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2016; 58 (2): 106–113.
14. Трофимов Н.А. и соавт. Опыт хирургического лечения фибрилляции предсердий у пациентов с пороком митрального клапана, осложненным высокой легочной гипертензией. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2019; 61 (6): 506–514. DOI: 10.24022/0236–2791–2019–61–6–506–514.
15. Takashi Kakuta et al. Contemporary outcomes of the concomitant CryoMaze procedure. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019 Jul 1; 29(1):28–34. doi: 10.1093/icvts/ivz029.
16. Julian Maier et al. Cardiac Computed Tomography-Derived Left Atrial Volume Index as a Predictor of Long-Term Success of Cryo-Ablation in Patients With Atrial Fibrillation. *Am J Cardiol*. 2021 Feb 1;140: 69–77. doi: 10.1016/j.amjcard.2020.10.061.
17. Keijiro Nakamura et al. Impact of atrial mitral and tricuspid regurgitation on atrial fibrillation recurrence after ablation. *J Electrocardiol*. May-Jun 2021; 66:114–121. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2021.04.005.
18. Zoltan A Szalay et al. Predictors of Failure to Cure Atrial Fibrillation with the Mini-Maze Operation. January 2004. *Journal of Cardiac Surgery*. 19(1):1–6. DOI:10.1111/j.0886–0440.2004.04001.
19. Ying-Chieh Liao et al. Atrial Size and Left Ventricular End-Systolic Dimension Predict the Progression of Paroxysmal Atrial Fibrillation After Catheter Ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2017. Jan; 28(1):23–30. doi: 10.1111/jce.13115.
20. Gerhard Hindricks et al. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *Eur Heart J*. 2021 Feb 1;42(5): 373–498. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa612.
21. Otto C.M. et al. 2020 ACC/AHA guideline for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2021; 143: e*****e***. doi: 10.1161/CIR.0000000000000923.
22. Багдасарян А.Ю. и соавт. Интраоперационная абляция при хирургическом лечении приобретенных пороков сердца, осложненных персистирующей фибрилляцией предсердий. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2016; 58 (2): 106–113. DOI:
23. Бокерия Л.А. и соавт. Результаты хирургического лечения хронической фибрилляции предсердий у больных с пороками митрального клапана. *Анналы аритмологии*. 2004; 1: 64–70.
24. Бокерия Л.А. и соавт. Результаты хирургического лечения фибрилляции предсердий у пациентов с пороками сердца. *Анналы аритмологии*. 2012; 4: 14–22.
25. Ревিশвили А.Ш. и соавт. Комбинированный (хирургический и интервенционный) подход к лечению персистирующих форм фибрилляции предсердий. *Анналы аритмологии*. 2011; 1: 62–7.

© Комаров Роман Николаевич (komarovroman@rambler.ru),

Мацуганов Денис Алексеевич (denmacug@yandex.ru), Нуждин Михаил Дмитриевич (mikhailnuzhdin@hotmail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕРОВ ЗУБОВ У ЛЮДЕЙ С НОРМОДОНТНЫМ БРАХИГНАТИЧЕСКИМ ТИПОМ ЗУБНЫХ ДУГ

FEATURES OF TOOTH SIZES IN PEOPLE WITH NORMODONT BRACHYGNATIC TYPE OF DENTAL ARCHES

A. Kondratyuk
M. Puzdyreva
M. Rozhkova
S. Fischev
A. Sevastyanov
V. Popov
A. Belogortseva
N. Fernando

Summary. Currently, issues related to the influence of individual characteristics of the maxillofacial region and the proportionality of dental arches on the stability of treatment results in the clinic of orthodontics and orthopedic dentistry remain insufficiently studied. The use of research methods is of particular importance for the diagnosis of various types of dental arch anomalies in people with normodont dental arches and brachygnathic facial types.

Keywords: orthodontics, malocclusion, brachygnathia, dental arches, reproduction of the shape of dental arches.

Кондратюк Андрей Александрович

К.м.н., ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ.
kondratyuk.andrey@icloud.com

Пуздырева Маргарита Николаевна

К.м.н., ассистент Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения РФ
seven-spb@yandex.ru

Рожкова Мария Геннадьевна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ.
rozmaria2010@yandex.ru

Фищев Сергей Борисович

Д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
super.kant@yandex.ru

Севастьянов Аркадий Владимирович

Д.м.н., профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
ardy.dkr@mail.ru

Попов Владимир Петрович

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ

Белогорцева Анастасия Николаевна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
anastasia-1911@yandex.ru

Фернандо Нина Владимировна

Ассистент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ
toprikova@mail.ru

Аннотация. В настоящее время недостаточно изученными остаются вопросы, связанные с влиянием индивидуальных особенностей челюстно-лицевой области и соразмерностью зубных дуг на стабильность результатов лечения в клинике ортодонтии и ортопедической стоматологии. Использование методов исследования имеют особое значение для диагностики различных видов аномалий зубных дуг у людей с нормодонтными зубными дугами и брахигнатическими типами лица.



Большинство методов исследования размеров зубных дуг и определения соответствия размеров зубов параметрам зубных дуг основывается на измерении отдельных зубов и/или групп зубов и последующим соотношением с предложенными дентальными, и интердентальными индексами и коэффициентами [1, 2, 3, 4]. На этом принципе проводятся методы оценки трансверсальных и сагиттальных линейных размеров зубных дуг (методы Pont, Linder и Harth; Korkhaus). Учитывая различия индексных величин при оценке указанных методов (Pont и Linder-Harth) нередко возникают сложности при интерпретации результатов исследования. К тому же не отмечено при каких вариантах формы зубных дуг эти методы рекомендуется использовать в клинике ортодонтии [5, 6, 7, 8].

Современные классификации формы и размеров зубных дуг подкреплены сведениями об основных линейных размерах, однако они приведены при исследовании пациентов с физиологической окклюзией постоянных зубов [9]. Предложенные методу измерения диагональных размеров зубных дуг основаны на положении межрезцово́й точки, которая при аномалиях формы и размеров зубных дуг может менять свое положение [10]. Зачастую затруднено прогнозирование размеров зубных дуг при аномалиях их формы и размеров. Крайне мало сведений по оценке соответствия размеров зубов и зубных дуг при нормодонтных брахигнатических типах зубных дуг. Не разработаны четкие алгоритмы исследования аномальных зубных дуг для определения тактики ортодонтического лечения [11, 12, 13].

Таким образом, актуальность настоящего исследования очевидна, а все изложенное выше предопределило цель и задачи работы.

Цель исследования

Повышение эффективности диагностики зубочелюстных аномалий за счет оптимизации методов исследования нормодонтных брахигнатических типах зубных дуг с учетом индивидуальных особенностей челюстно-лицевой области.

Материалы и методы исследования

С нормодонтными зубными дугами встречались лица различных типов зубных дуг, в частности долохо-, брахи- и мезогнатические, в зависимости от величины дентального индекса зубной дуги.

Ключевые слова: ортодонтия, аномалии прикуса, брахигнатия, зубные дуги, репродукция формы зубных дуг.

Мы проводили исследования 34 лиц, имеющих нормодонтные зубные дуги с брахигнатическим типом лица.

Результаты исследования

У людей с нормодонтным брахигнатическим типом зубных дуг дентальный индекс верхней зубной дуги в среднем составлял $0,85 \pm 0,04$, для нижней зубной дуги индекс был $0,88 \pm 0,02$.

Размеры групп зубов у людей исследуемой группы с нормодонтизмом и брахигнатическим типом зубных дуг показаны в таблице 1.

В результате исследования установлено, что суммарная величина широтного одонтометрического показателя, определяемого как длина верхней зубной дуги, составляла $115,1 \pm 2,87$ мм, а на нижней челюсти — $109,9 \pm 2,95$ мм. Достоверных отличий по одонтометрическим показателям у людей с мезогнатическим и брахигнатическим нормодонтным типом зубных дуг нами не выявлено.

Полученные данные соответствовали параметрам нормодонтных типов зубных дуг, что было подтверждено величиной среднего модуля моляров. Для верхних моляров средний модуль был $10,79 \pm 0,08$, для зубов нижней челюсти — $10,88 \pm 0,09$.

Отношение длины зубной дуги верхней челюсти к такому же размеру нижних зубов составило 1,05, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия определения соответствия размеров верхних и нижних зубов.

Отношение суммы ширины коронок резцов верхней челюсти, к таким же параметрам нижней челюсти составило $1,32 \pm 0,02$ (индекс Тонп).

Отношение суммы ширины коронок 6 передних зубов нижней и верхней челюсти (переднее соотношение по Bolton) составило $79,04 \pm 2,12$. Достоверных отличий, по сравнению с авторскими величинами и результатов, полученных у людей с нормодонтными мезогнатическими типами зубных дуг нами не выявлено.

Отношение суммы ширины коронок 12 передних зубов нижней и верхней челюсти (полное соотношение по Bolton) составило $92,09 \pm 1,32$. Достоверных отличий, по сравнению с авторскими величинами и результатов,

Таблица 1. Размеры групп зубов у людей с нормодонтизмом и мезогнатическим типом зубных дуг при физиологическом прикусе.

Показатели измерения	Размеры зубов (в мм) на:	
	верхней челюсти	нижней челюсти
Ширина коронок 4 резцов	32,06±1,49	24,2±1,17
Ширина коронок 6 передних зубов	47,52 ±1,81	37,56±1,95
Ширина коронок 12 зубов	96,66±2,18	89,02±2,36
Ширина коронок 14 зубов	115,1±2,87	109,9±2,95

Таблица 2. Основные линейные размеры нормодонтных брахигнатических зубных дуг при физиологическом прикусе.

Параметры зубных дуг	Размеры зубной дуги (в мм) на челюсти:			
	верхней		нижней	
	расчетные	фактические	расчетные	фактические
Ширина в области премоляров по Pont	40,07±2,28	38,87±2,34	40,07±2,28	36,81±2,08
Ширина в области моляров по Pont	50,09±2,74	50,77±2,74	50,09±2,74	53,59±2,46
Ширина в области премоляров по L-H	37,72±2,12	38,87±2,34	37,72±2,12	36,81±2,08
Ширина в области моляров по L-H	49,32±2,96	50,77±2,74	49,32±2,96	53,59±2,46
Глубина переднего отдела по Korkhaus	18,0±0,41	16,02±0,59	16,0±0,29	14,19±0,35

полученных у людей с нормодонтными мезогнатическими типами зубных дуг нами не выявлено.

Полученные индексы соответствовали норме и свидетельствовали о соразмерности зубов обеих челюстей.

Предложенная нами оценка соразмерности величин 14 зубов обеих челюстей показала, что процентное отношение размеров нижних зубов к верхним составило 95,48±1,87%, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия определения соответствия указанных величин.

Ширина коронок 4 резцов верхней челюсти позволила нам рассчитать ширину зубных дуг по методам Pont и Linder-Harth (L-H), оценить глубину зубной дуги по методу Korkhaus.

Кроме того, оценивали равенство сегментов по Gerlach.

Результаты исследования зубных дуг с использованием общепринятых методов представлены в таблице 2.

Результаты исследования показали, что при физиологическом прикусе у людей с нормодонтизмом и брахигнатическими вариантами типов зубных дуг размеры

широтных параметров отличаются от расчетных показателей, определяемых по общепринятым методам.

Так, ширина зубной дуги в области верхних премоляров была меньше, чем рассчитанная по предложенным Pont индексам на 1,21±0,29 мм, а в области нижних премоляров была уменьшена — на 3,26±0,94 мм.

В то же время, в области верхних моляров различия в авторских показателях и полученных у людей группы сравнения нами не отмечено. На нижней челюсти межпремолярное расстояние было больше, чем величина, рассчитанная по индексам Pont на 3,5±0,93 мм.

Следует отметить, что межпремолярная ширина обеих зубных дуг соответствовала расчетным показателям Linder и Harth.

В области моляров обе зубные дуги были шире, чем значения, предложенные Linder и Harth.

Таким образом, при обследовании людей с нормодонтными брахигнатическими формами зубных дуг индексы Pont и Linder и Harth для прогнозирования трансверсальных размеров зубных дуг мало информативны.

Сагиттальные размеры обеих челюстей были меньше на 2,01±0,15 мм, чем расчетные величины, и глубина

Таблица 3. Основные линейные размеры нормодонтных брахигнатических зубных дуг при физиологическом прикусе.

Параметры зубных дуг	Размеры зубной дуги (в мм) на челюсти:				
	верхней		нижней		
	расчетные	фактические	расчетные	фактические	
Ширина между клыками	36,0±1,82	36,2±1,94	27,47±0,89	27,5±1,52	
Ширина между вторыми молярами	67,82±2,15	67,99±2,19	61,66±2,12	62,09±2,36	
Глубина до уровня клыков	8,53±0,44	8,6±0,76	7,05±0,53	7,01±0,61	
Глубина до уровня моляров	41,74±1,93	41,8±2,07	41,52±1,49	41,09±1,76	
Диагональ до уровня клыков	19,92±0,99	20,17±0,86	15,44±1,49	15,21±1,95	
Диагональ до уровня моляров	53,82±2,04	53,95±1,93	51,84±1,33	51,4±1,68	

переднего отдела для верхней и нижней челюсти составляла $16,02 \pm 0,59$ мм и $14,19 \pm 0,35$ мм соответственно, что характерно для брахигнатических зубных дуг.

Длина бокового сегмента по Gerlach на верхней челюсти составила $32,21 \pm 1,24$ мм, а на нижней — $32,45 \pm 1,67$ мм, что практически не отличалось от размеров переднего отдела зубной дуги, а именно суммы ширины коронок 4 резцов. Полученные данные свидетельствовали о соразмерности отдельных участков зубной дуги и позволяли использовать данный метод для исследования нормодонтных брахигнатических зубных дуг при аномалиях их формы и размеров.

Согласно предложенному нами алгоритму обследования пациентов вначале определяли гнатический тип лица. У обследуемого контингента межкозелковое расстояние (t-t) составляло $156,38 \pm 5,27$ мм, а диагональ гнатической части лица (t-sn) была $126,61 \pm 2,33$ мм. Процентное отношение диагонали лица к его ширине (ГИЛ) составляло $81,41 \pm 2,46$, что было свойственно характеристикам брахигнатического типа лица. Величина диагональных размеров соответствовала показателям нормодонтного типа гнатической части лица. Таким образом, в рассматриваемой группе были пациенты с нормодонтными брахигнатическими типами лица.

Далее оценивали одонтометрические показатели и размеры зубных дуг. Одонтометрию проводили по общепринятым методикам. При этом оценивали соразмерность зубов. Соотношение ширины коронки верхнего медиального резца к размерам латерального резца в среднем по группе составляло $0,82 \pm 0,03$, что соответствовало нормальным показателям. Отношение мезиально-дистального размера верхнего клыка к аналогичному параметру верхнего медиального резца было $0,88 \pm 0,07$, а по отношению к латеральному резцу — $1,05 \pm 0,08$, что также свидетельствовало о гармонии размеров передних зубов. Затем проводили из-

мерения зубных дуг, в соответствии с предложенными методами исследования.

Результаты исследования зубных дуг, с использованием предложенного нами алгоритма показаны в таблице 3.

Трансверсальные размеры зубных дуг, особенно в области моляров, были значительно больше, чем у людей с мезогнатическими типами зубных дуг. Тем не менее, диагональные размеры не имели достоверных различий с указанным выше контингентом обследованных, что свидетельствует о том, что диагональные параметры определяются размерами зубов.

Отношение ширины зубной дуги между молярами верхней челюсти к ширине нижней зубной дуги составляло $1,095 \pm 0,06$, что может быть полезно при диагностике аномалий и прогнозировании размеров зубных дуг.

Следует отметить, что расчетные размеры зубных дуг практически соответствовали фактическим величинам, что свидетельствовало об эффективности предложенных методов исследования. Достоверных различий между расчетными и фактическими показателями не обнаружено.

Индекс верхней дуги (отношение глубины дуги к ее ширине) был в пределах $0,61 \pm 0,08$, а нижней зубной дуги — $0,66 \pm 0,04$, что соответствовало брахигнатическому типу зубных дуг.

Таким образом, предложенные методы исследования были наиболее близки к основным размерам зубных дуг постоянного ортогнатического прикуса. Предложенный алгоритм может быть использован в клинике ортодонтии для диагностики различных видов аномалий зубных дуг у людей с нормодонтными брахигнатическими типами лица и зубных дуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агашина М.А. Прогнозирование результатов ортопедического лечения пациентов с вертикально-мезиальной формой повышенной стираемости зубов. / М.А. Агашина, С.Б. Фищев, С.В. Дмитриенко, А.В. Лепилин, Д.Н. Балахничев // Пародонтология. — 2017. Т. XXII — № 1(82). С. 31–37.
2. Агашина М.А. Параметры зубных дуг верхней и нижней челюстей в трансверзальном направлении. / М.А. Агашина, С.Б. Фищев, С.В. Дмитриенко, А.В. Лепилин, Д.Н. Балахничев // Стоматология детского возраста и профилактика». — 2017. — Т. XVI — № 1(60). С. 36–39.
3. Пузырева М.Н., Субботин Р.С., Фищев С.Б., Фомин И.В., Кондратюк А.А., Орлова И.В. Дифференциальная диагностика патологических и физиологических видов резцового перекрытия // Педиатр. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 39–44.
4. Ртищева С.С., Фищев С.Б., Севастьянов А.В. и др. Аномалии размеров зубов и основные варианты микродонтизма // Профилактика основных стоматологических заболеваний: Материалы республиканской конференции стоматологов. — Уфа, 2011. — С. 181–184.
5. Dmitrienko S.V., Lepilin A.V., Domenyuk D.A., A.A. Kondratyuk Clinical meaning of methods for identifying variability of mental prominence location // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9. Num. 1. — P. 45–46.
6. Dmitrienko T.D., Domenyuk D.A., Porfyriadis M.P., Arutyunova A.G., Kondratyuk A.A., Subbotin R.S. Connection between clinical and radiological torque of medial incisors at physiological occlusion // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9. Num. 1. — P. 29–37.
7. Fischev S.B., Puzdryyova M.N., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in peoples with dental arch issues combined with occlusion anomalies // Archiv EuroMedica. — 2019. — Т. 9. — № 1. — P. 162–163.
8. Fomin I.V., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A., Arutyunova A.S. Effect of jaw growth on dentofacial angle in analyzing lateral telerradiographic images // Archiv EuroMedica. 2019. vol. 9, num. 2. P. 136–137.
9. Kondratyuk A., Subbotin R., Lepilin A., Puzdrev M., Fischev S., Sevastynov A., Doenyuk D, Rozhkova M. Dependence of facial morphometric parameters from masticatory muscles tone in people with horizontal type of increased dental abrasion // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9. Num. 3. — P. 91–96.
10. Lepilin A.V., Fomin I.V., Domenyuk D.A., Dmitrienko S.V., Budaychiev G.M-A. diagnostic value of cephalometric parameters at graphic reproduction of tooth dental arches in primary teeth occlusion // Archiv euromedica. — 2018. — V.8. — № 1. — P. 37–38.
11. Puzdryyova M.N., Fischev S.B., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in people with dental arch issues combined with occlusion anomalies // Archiv euromedica. — 2019. — vol. 9, Num. 1. — P.162–163.
12. Shen L. He F., Zhang C. Prevalence of malocclusion in primary dentition in mainland China, 1988–2017: a systematic review and meta-analysis // Sci. Rep. — 2018. — Vol. 8. — № 1. — P. 4716.
13. Singh S., Sharma A., Sandhu N. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment needs in school going children of Nalagarh, Himachal Pradesh, India // J. Dent. Res. — 2016. — Vol. 27. — № 3. — P. 317–322.

© Кондратюк Андрей Александрович (kondratyuk.andrey@icloud.com), Пузырева Маргарита Николаевна (seven-spb@yandex.ru),
 Рожкова Мария Геннадьевна (rozmaria2010@yandex.ru), Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru),
 Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru), Попов Владимир Петрович,
 Белогорцева Анастасия Николаевна (anastasia-1911@yandex.ru), Фернандо Нина Владимировна (toprikova@mail.ru).
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ОСТРОГО НАРУШЕНИЯ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ ПО ГЕМОРРАГИЧЕСКОМУ ТИПУ ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ

CLINICAL OBSERVATION OF ACUTE CEREBROVASCULAR ACCIDENT BY HEMORRHAGIC TYPE DURING PREGNANCY

**E. Lyashenko
R. Chotchaev
M. Dobychina**

Summary. Accident vasculaire cerebral (AVC) occupies one of the leading places among the mortality and disability of the population. Among females it's the fourth leading cause of death and the eighth leading cause of pregnancy-related death.

Considering the period of pregnancy and childbirth the risk of cerebrovascular pathologies increases, they are based on physiological changes in the woman's body.

The level of estrogen rises, during pregnancy, which in turn increases the production of blood clotting factors and entails the risk of blood clots which can lead to stroke of the ischemic type. During pregnancy, the volume of blood circulation (BV) increases which significantly increases the risk of arterial hypertension (AH). At the same time, in the third trimester of pregnancy, an increased level of progesterone leads to an increase in the permeability of the walls of small vessels. The lack of medical supervision over the ongoing pregnancy, as well as the two aforementioned physiological changes, can increase the risk of stroke by hemorrhagic type.

The given clinical observation demonstrates the experience of treating a pregnant patient with stroke of the hemorrhagic type using the available knowledge about the etiopathogenesis of the disease. A review of modern scientific publications and literature data was carried out; on their basis the various roles of risk factors, pathogenetic factors and the mechanism of development of this pathology were analyzed.

Keywords: pregnancy, hemorrhagic stroke, hematoma, arterial hypertension, angiopathy.

Ляшенко Елена Николаевна

*К.м.н., доцент, Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
helen.lyashen@mail.ru*

Чотчаев Роберт Муратович

*Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
abdullakh.chotchaev@mail.ru*

Добычина Мария Валериевна

*Институт «Медицинская академия имени С.И. Георгиевского» Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
mashulyavalerievna@mail.ru*

Аннотация. Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) занимает одно из лидирующих мест среди причин смерти и инвалидизации населения.

Среди лиц женского пола занимает четвертое место и восьмое по причине смерти, связанной с беременностью. В период беременности и родов риск возникновения цереброваскулярных патологий возрастает, в их основе лежат физиологические перестройки в организме женщины. Так во время беременности повышается уровень эстрогенов, который в свою очередь повышает выработку факторов свертывания крови и влечет за собой риск формирования тромбов, которые могут привести к возникновению ОНМК по ишемическому типу. Во время беременности возрастает ОЦК, что значительно увеличивает риск возникновения артериальной гипертензии (АГ). Одновременно с этим повышенный уровень прогестерона приводит к увеличению проницаемости стенок мелких сосудов. Отсутствие врачебного наблюдения за протекающей беременностью, а так же два вышеупомянутых физиологических изменения могут повысить риск возникновения ОНМК по геморрагическому типу.

Приведенное клиническое наблюдение демонстрирует опыт лечения беременной пациентки с ОНМК по геморрагическому типу с использованием имеющихся знаний об этиопатогенезе заболевания. Проведен обзор современных научных публикаций и литературных данных, на их основании проанализирована различная роль факторов риска, патогенетических факторов и механизма развития данной патологии.

Ключевые слова: беременность, геморрагический инсульт, гематома, артериальная гипертензия, ангиопатия.

Введение

Инсульт — острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), характеризующееся внезапным (в течение минут, реже в течение часов) появлением очаговых неврологических и/или общемозговых симптомов, сохраняющихся более 24 часов или приводящих к смерти больного в более короткий промежуток времени вследствие причины цереброваскулярного происхождения [3].

На сегодняшний день статистические данные о патологических интракраниальных изменениях неоднозначны. Риск возникновения ОНМК составляет 4–11 на 100 тыс. женщин фертильного возраста. Данный риск возрастает в поздние сроки беременности [5, 6, 11, 13].

Данная патология является полиэтиологичной, основными факторами повышающими риск возникновения ОНМК принято считать разрыв сосуда головного мозга и развитие внутримозгового и/или субарахноидального кровоизлияния при АГ, атеросклероз, ожирение, сахарный диабет, роды в позднем репродуктивном возрасте, беременные не выполняющих рекомендации специалистов по поводу сопутствующей соматической патологии. [7, 8, 9, 10].

АГ является весомым фактором риска (80–85%) в возникновении патологических изменений и нарушений со стороны центральной нервной систем, особенно со стороны сосудов головного мозга, а именно в развитии ОНМК [11, 12, 27, 28, 30].

Согласно всемирной статистике АГ занимает одну из лидирующих позиций, являющихся причиной материнской заболеваемости и смертности [13].

Критерием АГ во время беременности является повышение систолического АД (САД) ≥ 140 мм рт. ст. и/или диастолического АД (ДАД) ≥ 90 мм рт. ст., определенное как среднее в результате, как минимум при двукратном измерении на одной руке с интервалом 15 минут. Классифицируется на хроническую АГ, которая была выявлена до наступления беременности и гестационную, которая возникает после 20 недели беременности [14].

Преобладание АГ, как фактора риска возникновения ОНМК по геморрагическому типу у беременных над другими факторами риска показано в научно-исследовательской работе проведенной Американской коллегией акушеров Leffert LR, Clancy CR, Bateman BT, Bryant AS, Kuklina EV. [15]. В исследование было включено 81 983 216 госпитализаций по поводу геморрагического инсульта, из них у 9890 была диагностирована хроническая АГ.

По результатам данной работы был сделан вывод, что наличие хронической АГ повышает частоту возникновения геморрагического инсульта в 5,2 раза, чем у беременных с нормальными показателями артериального давления.

Клиническое наблюдение. Больная К. (33 года) доставлена в приемное отделение Республиканской клинической больницы, сотрудниками СМП 04.08.2022 года с диагнозом: ОНМК. Беременность 34 недели, 1 день.

По данным записей сопроводительного листа станции скорой медицинской помощи известно, что при осмотре врачом СМП установить продуктивный контакт с больной не удалось, на вопросы пациентка отвечает невнятно, с длительными паузами. Со слов родственников: пациентка беременна, на сроке гестации 34 недели, 1 день. Около 4:00, 04.08.2022 г., стала вести себя неадекватно — ходила по дому, произносила слова не связанные по смыслу. Со слов сестры 03.08.2022 пила алкоголь содержащие напитки. Артериальное давление при измерении сотрудниками СМП составляло 200/100 мм.рт.ст. После внутривенного введения раствора магния сульфата в дозировке 5 мл, артериальное давление снизилось до 150/100 мм.рт.ст. Со слов ближайших родственников стало известно, что пациентка страдает артериальной гипертензией, но гипотензивную терапию не принимает. При осмотре было выявлена гемиплегия справа. В дальнейшем было принято решение об экстренной транспортировки больной в стационар с диагнозом: беременность 34 недели, 1 день, острое нарушение мозгового кровообращения.

04.08.2022 4:45 г. в приемном отделении пациентка осмотрена дежурным врачом, по жизненным показателям было произведено МСКТ головного мозга. По данным МСКТ: внутримозговое кровоизлияние в базальных ганглиях слева (приблизительный объем 28.8 мл), ВЖК, смещение срединных структур вправо до 2мм, церебральный атеросклероз.

В приемном отделении пациентка была осмотрена следующими врачами:

Дежурный гинеколог: пациентка активных жалоб не предъявляет, многократная рвота, вербальному контакту не доступна. Объективно: состояние тяжелое, уровень сознания умеренное оглушение, кожные покровы бледные. АД 190/100 мм.рт.ст, PS86, SpO2 98%. Живот мягкий, увеличен за счет матки, дно матки располагается по срединной линии, ВДМ = 30см. PV: шейка матки цилиндрическая, наружный зев закрыт. Выделения белесоватые, умеренные. Произведено УЗИ плода: гестационный срок 34 недели, 1 день, без патологии.

Дежурный невролог, нейрохирург: пациентка активных жалоб не предъявляет, многократная рвота.

Неврологический статус: пациентка в умеренном оглушении (ШКГ 13б). Вербальному контакту недоступна, из-за тотальной афазии. Менингеальных знаков нет. За неврологическим молоточком не следит, снижена правая носогубная складка. Язык в полости рта по срединной линии. Правосторонняя гемиплегия. Сухожильные рефлексы D>S, гипотонус правых конечностей. Чувствительность проверить невозможно, из-за угнетения сознания.

Дежурный анестезиолог — реаниматолог:

Больная осмотрена на каталке в протившоковой палате приемного отделения. Общее состояние тяжелое. Уровень нарушения сознания — глубокое оглушение (ШКГ — 12 баллов). На обращенную речь открывает глаза. Выполняет простые просьбы. Движения в конечностях сохранены. Зрачки OD = OS, фотореакция сохранена. Кожные покровы бледные, нормотермия. Дыхание спонтанное, через естественные пути эффективное, SpO₂—98% при дыхании воздухом, ЧДД — 18 в минуту, аускультации проводится над всеми легочными полями одинаково, жесткое, хрипов нет. Гемодинамика со склонностью к гипертензии, АД — 190/90 мм.рт.ст., ЧСС — 90 ударов в минуту, ритмичный. Живот мягкий, на пальпацию не реагирует, перистальтика выслушивается.

После осмотра вышеперечисленными специалистами был поставлен следующий диагноз: геморрагический инсульт, внутримозговое кровоизлияние с прорывом в желудочковую систему головного мозга. Беременность 34 недель 1 день.

Даны рекомендации: госпитализация в отделение реанимации и интенсивной терапии, по введению больных нейрохирургического профиля. Консилиум врачей в 04.08.2022 в 8:00. Повторное УЗИ плода. ЭКГ контроль.

Назначенные обследования: клинический анализ крови и мочи, биохимический анализ крови, коагулограмма, определение группы крови и резус фактора, кровь на сифилис, кровь на ВИЧ, кровь на маркеры вирусных гепатитов.

Назначенное лечение:

1. Р-р NaOH 0,9% 400мл + MgSO₄ 25% 20мл + KCl 4% 30мл — внутривенно капельно.
2. L-лизина эсцинат 10 мл + 100мл р-р NaOH 0,9% + MgSO₄ 25% — внутривенно капельно.
3. Кортексин 10 мг внутримышечно.

4. MgSO₄ 25% 50мл — объемом 5 мл/час на аппарате дозированной подачи.
5. Лизиноприл 10 мг, по 1 таблетке 2 раза в назогостральный зонд.
6. Омепразол 40.0 — внутривенно струйно.

04.08.2022 г 8:00. Состояние больной ухудшилось. Общее состояние тяжелое, уровень сознания сопор (ШКГ 10б). Совместно с заведующим отделения нейрохирургии и отделения реанимации и интенсивной терапии по ведению больных нейрохирургического профиля было решение о проведении КТ + КТАГ головного мозга. По данным КТ и КТАГ: внутримозговое кровоизлияние (объем увеличился до 60 см³) в левой лобно теменной области и базальных ядрах, срединной дислокации до 10 мм. ВЖК, САК. КТ -ангиографических данных за аневризматические расширения, АВМ — на момент исследования не выявлено.

04.08.2022 г. в 8:30 был проведен врачебный консилиум, принято решение: учитывая возраст пациентки, отрицательную динамику на КТ и клинически пациентке показано проведение хирургического лечения — декомпрессионная трепанация черепа слева, удаление внутримозговой инсульта гематомы. Кесарево сечение в экстренном порядке, после предоперационной подготовки.

04.08.2022 г 10:25 начало кесарева сечения, 10:27 извлечение ребенка, 10:55 конец операции. Плод извлечен за головку. Родилась живая недоношенная девочка массой 1723 г, ростом 40 см. по Апгар 3–7 баллов. Ребенок был переведен в отделение реанимации и интенсивной терапии перинатального центра.

04.08.2022 г. 11:35 операция: декомпрессионная трепанация черепа. Удаление внутримозговой инсульта гематомы. Конец операции 13:15. Общая длительность операции 01 час. 40 мин. Кровопотеря 100 мл.

04.08.2022 13:25 больная переведена в отделение реанимации и интенсивной терапии по введению больных нейрохирургического профиля в сопровождении анестезиологической бригады, в состоянии медикаментозного сна.

После проведенных оперативных вмешательств, пациентке была назначена следующая терапия:

- ◆ NaCl 0,9% 200 мл+ MgSO 4 10 мл+ KCl 4% 30 мл в/в капельно, 1 раз.
- ◆ NaCl 0,9% 100 мл+ L-лизина эсцинат 10.0 мл в/в капельно 2 раза.
- ◆ Кеторолак 30 мг, 2 р в текущие сутки в/в.
- ◆ Окситоцин 5 ЕД в/м 2р
- ◆ Омепразол 40 мг в/в

- ◆ Кортексин 10 мг в/м 1 р/д
- ◆ Таб. Нимотоп 60 мг каждые 4 часа

04.08.2022 15:30 Осмотр дежурного анестезиолога — реаниматолога: Общее состояние крайне тяжелое. Уровень нарушения сознания кома II, ШКГ 6 баллов. Гемодинамика не стабильная, со склонностью к гипертензии, корректируется непрерывной инфузией магния сульфата 25%, со скоростью 5 мл/час., а так же плановая гипотензивная терапия. АД –140/90 мм.рт.ст. Дыхание — ИВЛ через ЭТТ.

04.08.2022 15:35 Осмотр дежурного нейрохирурга: Общее состояние больной тяжелое. Уровень нарушения сознания — медицинская седатация, вне седации — кома -II. ШКГ –6 баллов.

Объективно: кожа и видимые слизистые бледно-розовые, обычной влажности. Температура тела 36,8 С. Дыхание — ИВЛ, через ЭТТ. Аускультативно — в легких дыхание везикулярное, выслушивается симметрично с обеих сторон, хрипов нет. Тоны сердца приглушены, ритмичные. Гемодинамика не стабильна со склонностью к гипертензии: АД –140/90 мм.рт.ст.— на фоне непрерывной инфузии MgSO₄ с помощью шприцевого насоса, со скоростью 5 мл/час., пульс — 88 ударов в минуту, ритмичный. Диурез по катетеру, учитывается.

Неврологически: Зрачки OD > OS, фотореакция сохранена. Менингеальные знаки положительные. Движения в конечностях отсутствуют. Сухожильные рефлексы D>S с рук и с ног. Патологический симптом Бабинского с 2х сторон.

04.08.2022 15:50 Осмотр дежурного гинеколога: общее состояние больной тяжелое, уровень сознания кома II. Живот мягкий, доступен пальпации. Матка плотная, контуры четкие, ВДМ + 14 см над лоном. Послеоперационный шов в удовлетворительном состоянии. Выделения из половых путей кровянистые, умеренные.

04.08.2022 16:00 Осмотр дежурного офтальмолога: проявление застойного диска зрительного нерва обоих глаз. Ангиопатия сетчатки обоих глаз.

С целью операционного контроля и из-за отрицательной динамики, 05.08.2022 было произведено МСКТ головного мозга: состояние после операции, внутримозговое кровоизлияние в левой гемисфере, (размеры 86x44x45мм, объем 89 мл.) ВЖК, смещение срединных структур вправо на 15 мм.

Учитывая тяжесть состояния больной, выраженный неврологический дефицит, и данные МСКТ головно-

го мозга. 05.08.2022 г., по срочным показаниям было проведено оперативное вмешательство: декомпрессионная трепанация левой лобно-теменно-височной области, удаление острой инсульта гематомы левой лобно-теменно-височной области. Начало операции 12:00, конец 13:05, длительность операции 1 час 5 мин. Кровопотеря 150 мл.

После операции общее состояние больной крайне тяжелое, с отрицательной динамикой. Уровень сознания кома III, по ШКГ 3 балла. Гемодинамика не стабильная, корректируется непрерывной инфузией вазопресором — мезатон, скорость инфузии 30 мкг/кг/мин. АД — 130/70 мм.рт.ст., пульс 74 уд. Мин. Дыхание — ИВЛ, через ЭТТ.

С 05.08.2022 г. по 11.08.2022 г. проводилось следующее консервативное лечение:

- ◆ NaCl 0,9% 200 мл+ MgSO 4 10 мл+ KCl 4% 30 мл в/в капельно, 1 раз.
- ◆ NaCl 0,9% 100 мл+ L-лизина эсцинат 10.0 мл в/в капельно 2 раза.
- ◆ Кортексин 10 мг в/м 1 р/д.
- ◆ Окситоцин 5 ЕД в/м 2р (до 06.08.2022).
- ◆ Цефуроксим 1500 мг., 3 раза.
- ◆ Амикацин 1000 мг. 1 раз.
- ◆ Омепразол 40 мг в/в 1 раз.
- ◆ Стелфрин 30 мг. + 47 мл. NaCl 0,9% в/в через инфузомат, со скоростью 30 мкг. / мин.
- ◆ Эноксапарин натрия 0,4 мг., подкожно 1 раз (с 06.08.2022).
- ◆ Кабивен центральный 900 Ккал через энтеромат, со скоростью 90 мл/час.
- ◆ Пневмокомпрессия нижних конечностей.

На фоне проводимой интенсивной терапии динамики в состоянии пациентки не наблюдалось.

11.08.2022 у пациентки на фоне проводимой интенсивной терапии произошла внезапная остановка эффективного кровообращения. Были немедленно начаты реанимационные мероприятия согласно протоколу, эффективное кровообращение было восстановлено. В тот же день произошла повторная остановка эффективного кровообращения, немедленно начатые реанимационные мероприятия были неэффективны. Была констатирована биологическая смерть.

Пациентка была направлена на патологоанатомическое вскрытие. Был выставлен следующий диагноз:

Основной: обширное паренхиматозно-вентрикулярное кровоизлияние, с формированием инсульта гематомы левой гемисферы, осложняющая беременность в сроке 34 недели 1 день. Роды 1 преждевременные,

операции 04.08.2022 — кесарево сечение; 04.08.2022 — декомпрессионная трепанация черепа слева, удаление внутримозговой гематомы.

Осложнения: повторное паренхиматозно-вен-трикулярное кровоизлияние левой гемисферы, операция 05.08.2022 — декомпрессионная трепанация левой лобно-теменно-височной области, удаление внутримозговой гематомы. Субарахноидальное кровоизлияние в левой лобно-теменно-височной области, внутримозговое кровоизлияние в левой лобно-теменно-височной области с краевым захватом правой теменной области.

Обсуждение

Представленное клиническое наблюдение демонстрирует случай ОНМК вследствие хронической АГ.

В 95–98% случаях при стойкой «нелеченной» АГ происходят патологические изменения сосудов головного мозга по типу плазмо и микрогемморагий, некроза интрацеребральных артерий, а именно: артерий базальных ядер, венролатеральных отделов таламуса, моста и мозжечка [16, 17, 25, 29].

Повышение артериального давления ведет к некрозу моноцитов сосудистой стенки, плазморагии и фибриноидной дегенерации, следствием этого является формирование милиарных аневризм, которые реализуются кровоизлиянием в мозг [18, 26].

Исходя из исследований последних лет, именно патология мелких интрацеребральных сосудов, включая сосуды микроциркуляторного русла, играют ключевую роль в возникновении кровоизлияний [19, 20]. Нарушение мозгового кровообращения, связанное с АГ, в настоящее время трактуется как маркеры патологии интрацеребральных артерий, за рубежом обозначается термином «cerebral small vessel disease» [21, 22, 23].

Описаны результаты исследований, проведенных Folsom AR, Yatsuya H, Mosley TH Jr, Psaty BM, Longstreth WT Jr. которые выявили патоморфологические изменения, характерные для ангиопатии сосудов головного мозга при АГ [24]. Исследование включало 125 секционных случаев, ранее все пациенты страдали артериаль-

ной гипертензией. Во всех 125 случаях было выявлено паренхиматозное кровоизлияние головного мозга, при этом объем очага превышал 40 см³. В 79% внутримозговое кровоизлияние сопровождалось прорывом в желудочковую систему, с дальнейшим отеком, дислокацией головного мозга и сдавлением ствола головного мозга, зачастую служившей причиной летальности. При микроскопическом исследовании во всех случаях были обнаружены изменения интрацеребральных артерий, характерных для гипертонической ангиопатии и послуживших причиной массивных паренхиматозных кровоизлияний в мозге.

Таким образом, участие вышеописанных факторов патогенеза в развитии ОНМК по геморрагическому типу у данной пациентки представляется высоко вероятным. При данных изменениях, проводимая интенсивная терапия и оперативное лечение были неэффективны, т.к. неконтролируемая хроническая АГ привела к необратимым патоморфологическим изменениям.

Заключение

Принимая во внимание вышеизложенное клиническое наблюдение, факторы риска и механизмы патогенеза, можно прийти к выводу, что своевременная диагностика и медикаментозная коррекция АГ, является ключевым фактором для прерывания цепочки патоморфологических изменений сосудов головного мозга и тем самым предотвращение ОНМК. Очень важно учитывать высокий уровень опасности последовательно возникающих на протяжении 1–3х суток множественных геморрагий у беременных, поскольку нарастающая внутричерепная гипертензия, токсическое влияние новых порций излившейся крови при субарахноидальных кровоизлияниях приводит к «наложению» крови по поверхности полушарий с развитием повторных регионарных вазоспазмов. Описываемый случай подтверждает однозначную роль неконтролируемой АГ в развитии ОНМК. Таким образом, своевременная консультация, динамическое наблюдение, а также совместная работа акушера-гинеколога и нейрохирурга для разработки алгоритма тактики ведения и родоразрешения позволяют снизить материнскую смертность, число гестационных осложнений и улучшить перинатальные исходы у беременных с геморрагическим инсультом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Malhame I, Legault C, et al, Glob. libr. women's med., ISSN: 1756–2228; <https://doi.org/10.3843/GLOWM.416443>
2. Тайтубаева Г.К., Грибачева И.А., Петрова Е.В., Попова Т.Ф. Инсульт и беременность: основные факторы риска. Исследования и практика в медицине. 2017; 4(4): 27–34. <https://doi.org/10.17709/2409–2231–2017–4–4–3>

3. Неврология. Национальное руководство. Краткое издание / под ред. Е.И. Гусева, А.Н. Коновалова, А.Б. Гехт. — М.: ГЭОТАРМедиа, 2018. — 688 с. — ISBN978-5-9704-4405-4.
4. Celermajer D. Smoking during pregnancy increases children's heart disease risk factors. 22.06.2011.
5. Dias K., Sekhar L.N. Intracranial hemorrhage from aneurysms and arteriovenous malformations during pregnancy and the puerperium. *Neurosurgery* 1990; 27: 855–866. <https://doi.org/10.1097/00006123-199012000-00001>.
6. Treadwell D, Thanvi B, Robinson TG. Stroke in pregnancy and the puerperium. *Postgrad Med J.* 2008;84:238–45. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2007.066167>
7. Верткин АЛ. Национальное руководство по скорой помощи. Москва: Эксмо; 2012. 816 с.
8. Корнюшина, Е.А. Нарушения системы гемостаза, методы их коррекции и исходы беременности у больных с тромбофилией и невынашиванием / Е.А. Корнюшина, М.С. Зайнулина // *Тромбоз, гемостаз и реология.* — 2009. — № 4(40). — С. 71–78. — EDN.
9. Kuklina EV, Tong X, Bansil P et al. Trends in pregnancy hospitalizations that included a stroke in the United States from 1994 to 2007: reasons for concern? *Stroke.* 2011; 42(9):2564–70. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.110.610592>.
10. В.Б. Ласков Кафедра неврологии и нейрохирургии ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России Факторы риска, механизмы развития и виды инсульта при беременности. Возможности медикаментозной терапии. <http://dx.doi.org/10.14412/2074-2711-2013-2345>.
11. Коростовцева Л.С., Звартау Н.Э., Баранцевич Е.Р., Конради А.О. Выбор антигипертензивного препарата в особых группах пациентов: данные доказательной медицины при сопутствующих заболеваниях нервной системы (часть 5). Артериальная гипертензия. 2015;21(2):116–120. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2015-21-2-116-120>.
12. Чухловина М.Л., Медведев С.Е. Роль артериальной гипертензии в развитии цереброваскулярных заболеваний при беременности. Артериальная гипертензия. 2018;24(5):508–514. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2018-24-5-508-514>
13. Шляхто, Е.В. Фармакотерапия артериальной гипертензии при беременности / Е.В. Шляхто, Е.И. Баранова, О.О. Большакова // *Новая аптека.* — 2008. — № 3. — С. 52–53. — EDN KYNKMB.
14. Киселева Н.И., Арестова И.М., Жукова Н.П., Колбасова Е.А. Артериальная гипертензия беременных: классификация, клиника, диагностика, акушерская тактика, лечение, профилактика и реабилитация. *Охрана материнства и детства.* 2016;1(27):62–68.
15. Leffert LR, Clancy CR, Bateman BT, Bryant AS, Kuklina EV. Hypertensive disorders and pregnancy-related stroke: frequency, trends, risk factors, and outcomes. *Obstet Gynecol.* 2015;125(1):124–131.
16. Белова Л.А. Венозная церебральная дисциркуляция при хронической ишемии мозга: клиника, диагностика, лечение // *Неврологический вестник.* — 2010. — Т. XLII. — № 2. — С. 62–67.
17. Кузнецова С., Кузнецов В., Мазур С., Шевченко Л. Мозг как орган-мишень при артериальной гипертензии. *Журнал. Нейроски.* [Интернет]. 20 марта 2019 г. [цитировано 12 декабря 2022 г.]; 7 (1): 5–11.
18. Пизова Н. Венозное кровообращение головного мозга: диагностика и принципы терапии. *Врач.* 2015; (4): 7–10.
19. Гулевская Т.С., Ануфриев П.Л. Морфологические изменения сосудов микроциркуляторного русла головного мозга при артериальной гипертензии с нарушениями мозгового кровообращения // *Современные проблемы науки и образования.* — 2017. — № 4.
20. Современные возможности визуализации гипертензивных внутримозговых кровоизлияний / В.В. Брюхов, М.Ю. Максимова, Р.Н. Коновалов, М.В. Кротенкова // *Неврологический журнал.* — 2007. — Т. 12. — № 6. — С. 36–41. — EDN ICDWOZ.
21. Lou M., Al-Hazzani A., Goddeau R., Novak V., Selim M. Relationship between white-matter hyperintensities and hematoma volume and growth in patients with intracerebral hemorrhage // *Stroke.* 2010. Vol. 41. № 1. P. 34–40. <http://dx.doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.564955>.
22. Smith E., Nandigam K., Chen Y.-W., Jeng J., Salat D., Halpin A., Frosch M., Wendell L., Fazen L., Rosand J., Viswanathan A., Greenberg S. MRI markers of small vessel disease in lobar and deep hemispheric intracerebral hemorrhage // *Stroke.* 2010. Vol. 41. № 9. P. 1933–1938. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.579078>
23. Zhu YC, Tzourio C, Soumaré A, Mazoyer B, Dufouil C, Chabriat H. Severity of dilated Virchow-Robin spaces is associated with age, blood pressure, and MRI markers of small vessel disease: a population-based study. *Stroke.* 2010 Nov;41(11):2483–90. <http://dx.doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.591586>. Epub 2010 Sep 23. PMID: 20864661.
24. Folsom AR, Yatsuya H, Mosley TH Jr, Psaty BM, Longstreth WT Jr. Risk of intraparenchymal hemorrhage with magnetic resonance imaging-defined leukoaraiosis and brain infarcts. *Ann Neurol.* 2012 Apr;71(4):552–9. PMID: 22522444; PMCID: PMC3377969. <https://doi.org/10.1002/ana.22690>.
25. Нарушения мозгового кровообращения. Диагностика, лечение, профилактика / З.А. Суслина, Т.С. Гулевская, М.Ю. Максимова [и др.]. — М.: МЕД-пресс-информ, 2016. — 529 с.
26. Гулевская Т.С., Максимова М.Ю., Романова А.В. Предикторы массивных кровоизлияний в головной мозг при артериальной гипертензии // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* — 2013. — Т. 7. — № 3. — С. 17–25.
27. Broderick J, Connolly S, Feldmann E, Hanley D, Kase C, Krieger D, Mayberg M, Morgenstern L, Ogilvy CS, Vespa P, Zuccarello M; American Heart Association/American Stroke Association Stroke Council; American Heart Association/American Stroke Association High Blood Pressure Research Council; Quality of Care and Outcomes in Research Interdisciplinary Working Group. Guidelines for the management of spontaneous intracerebral hemorrhage in adults: 2007 update: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association Stroke Council, High Blood Pressure Research Council, and the Quality of Care and Outcomes in Research Interdisciplinary Working Group. *Circulation.* 2007 Oct 16;116(16): e391–413.
28. Zia E, Hedblad B, Pessah-Rasmussen H, Berglund G, Janzon L, Engström G. Blood pressure in relation to the incidence of cerebral infarction and intracerebral hemorrhage. Hypertensive hemorrhage: debated nomenclature is still relevant. *Stroke.* 2007 Oct;38(10):2681–5.

29. А.Н. Пархоменко, Е.Н. Амосова, Г.В. Дзяк [и др.] Гипертензивные кризы: диагностика и лечение. Консенсус Ассоциации кардиологов Украины и Украинской ассоциации по борьбе с инсультом (Часть 2). Особенности коррекции артериального давления при осложненных гипертензивных кризах в зависимости от поражения органа-мишени // Медицина неотложных состояний. — 2013. — № 2(49). — С. 198–208. — EDN QAUIGJ.
30. Yoshida K, Takahashi JC, Takenobu Y, Suzuki N, Ogawa A, Miyamoto S. Strokes Associated With Pregnancy and Puerperium: A Nationwide Study by the Japan Stroke Society. Stroke. 2017 Feb;48(2):276–282. <http://dx.doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.014406>.

© Добычина Мария Валериевна (mashulyavalerievna@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

ПРИМЕНЕНИЕ РАМАН-ФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ЭМАЛИ ЗУБА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ

THE USE OF RAMAN FLUORESCENCE TECHNOLOGY TO ASSESS THE MINERALIZATION OF HARD TISSUES OF THE TOOTH WITH CHANGES IN TOOTH ENAMEL CAUSED BY RADIATION THERAPY

**N. Nurieva
G. Belyakov**

Summary. Currently, malignant neoplasms (MN) are an urgent problem. During their treatment with the use of radiation therapy, complications are observed, among which a large percentage is occupied by radiation damage to the hard tissues of the tooth.

The aim of the work is to develop a digital method for diagnosing changes in tooth enamel caused by radiation therapy, based on Raman fluorescence technology.

A study of tooth mineralization was carried out using Raman fluorescence technology on the «EnSpectr M» hardware and software complex. The data obtained indicate that the indicators of mineralization in the lesion ($y = 179 \pm 0.035$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$) are lower than those in the intact area ($y = 1089 \pm 0.063$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$).

The method of Raman fluorescence diagnostics can be used in the diagnosis of radiation changes in the enamel, since there is a potential difference between the intact and the affected areas of the hard tissues of the tooth.

On the basis of the study, the author recommends using the «EnSpectr M» hardware-software complex for diagnosing changes in tooth enamel caused by radiation therapy.

Keywords: mineralization of hard tissues, Raman fluorescence, dentistry, radiation therapy, oncology.

Нуриева Наталья Сергеевна

Доктор медицинских наук, Южно-Уральский
государственный медицинский университет,
г. Челябинск
natakipa@mail.ru

Беляков Герман Игоревич

Аспирант, Южно-Уральский государственный
медицинский университет, г. Челябинск
belyakov-95@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день, злокачественные новообразования (ЗНО) считаются актуальной проблемой. При их лечении с использованием лучевой терапии наблюдаются осложнения, среди которых большой процент занимают лучевые поражения твердых тканей зуба.

Целью работы является разработка цифрового метода диагностики изменений эмали зуба, обусловленных лучевой терапией, основанного на раман-флюоресцентной технологии.

Было произведено исследование минерализации зубов с помощью раман-флюоресцентной технологии на аппаратно-программном комплексе «ИнСпектр М». Изучали зубы в участке с изменением эмали зуба, обусловленном лучевой терапией, у пациентов основной группы (25 человек), и в интактном участке у пациентов группы сравнения (25 человек). Полученные данные говорят о том, что показатели минерализации в очаге с поражением ($y = 179 \pm 0,035$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$) ниже чем показатели в интактной области ($y = 1089 \pm 0,063$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$).

Метод раман-флюоресцентной диагностики можно использовать в диагностике лучевых изменений эмали, так как есть разность потенциалов интактного и пораженного участков твердых тканей зуба.

На основе проведенного исследования автор рекомендует использовать аппаратно-программный комплекс «ИнСпектр М» для диагностики изменений эмали зуба, обусловленных лучевой терапией.

Ключевые слова: минерализация твердых тканей, раман-флюоресценция, стоматология, лучевая терапия, онкология.

Введение

На сегодняшний день, злокачественные новообразования (ЗНО) считаются очень актуальной проблемой. За период 2015 года они привели к смерти около 8,8 млн. раз (по данным Всемирной Организации Здравоохранения) [1]. Образования локализованные в области головы и шеи могут занимать до 10% от общего их числа. Сложность их лечения заключается в комплексном применении хирургических, лучевых и химиотерапевтических методов. В настоящее время, в 60–65% случаев с ЗНО необходимо применение лучевой терапии, которая очень часто приводит к осложнениям. Одними из осложнений лучевой терапии, с которыми сталкиваются врачи стоматологи, являются лучевые поражения твердых тканей, в том числе лучевой кариес. По приведённым высоким показателям заболеваемости ЗНО и частоты применения лучевой терапии можно сделать вывод, что проблема поражений зубов, обусловленных облучением, является актуальной на сегодняшний день. В последнее время все большую популярность в медицине получают методы лазерной раман-флюоресцентной спектроскопии. Использование этих методов в медицине, в том числе в стоматологии, с каждым годом становится все больше [2–4].

Цель работы

Разработать цифровой метод диагностики изменений эмали зуба, обусловленных лучевой терапией, основанный на раман-флюоресцентной технологии.

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании изучали изменения эмали зуба, обусловленные лучевой терапией, с помощью метода раман-флюоресцентной спектроскопии. Благодаря этой технологии можно измерить уровень минерализации твердых тканей зуба в количественном цифровом виде [5]. Во время исследования был использован аппаратно-программный комплекс «ИнСпектр М», с заранее выбранной длиной волны зондирующего излучения 514 нм. [4]. АПК «ИнСпектр М» осуществляет измерение различных спектров (рамановского рассеяния и/или фотолюминесценции твердых тел, гелей жидкостей и порошков). (рис. 1)

Для исследования был произведен отбор двух групп людей (когорт) сопоставимых по полу и возрасту, имеющих в анамнезе ЗНО области головы и шеи и проведенную лучевую терапию по поводу данного заболевания, добровольно согласившихся принять участие. Основная группа составила 25 человек — (пациенты с изменением зубов обусловленных облучением), группа сравнения — 25 человек (без поражения зубов). Основным методом исследования было исследование раман-флюорес-

ценции участков зубов на аппаратно-программном комплексе «ИнСпектр М» с диагностической чувствительностью по интегральной концентрации аэробно-анаэробной микробной взвеси до 10^9 степени КОЕ/мл.

Исследованию подверглись пораженные участки у пациентов основной группы и интактные участки у группы сравнения. Для анализа интенсивности рамановского излучения пораженного и интактного участка твердых тканей в количественном эквиваленте (в относительных единицах) были зафиксированы показатели в максимальной и минимальной мощности, а также информация об интенсивности флюоресценции (M ср.). Интенсивность Рамана (M ср.) считали, как разницу показателей максимальной и минимальной мощности. [6].

Результаты, полученные в ходе работы были обработаны по всем правилам медицинской статистики с применением персонального компьютера и программы статистики IBM SPSS Statistics 20. Результаты вычисления представлены в форме $M \pm m$ (среднее значения (M) и стандартное отклонение (m)). Итоговые систематизированные результаты раман-флюоресцентной диагностики были объединены и представлены в таблице (Таблица 1) и изображены на рисунке (рис. 2.).

Интактная поверхность зуба и поверхность с патологическим очагом имеют кардинальные отличия в степени минерализации. По полученным данным показатели Интенсивности Рамана (отн. ед.) в очаге ($y = 179 \pm 0,035$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$) ниже показателей интактной области ($y = 1089 \pm 0,063$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$). То есть участки зубов, имеющие лучевые поражения, имеют существенно сниженный уровень минерализации. Из анализа полученных данных следует, что выявлено достоверное различие в минерализации твердых тканей зубов между основной и группой сравнения.

По результатам проведенной работы можно рекомендовать к использованию инновационную раман-флюоресцентную технологию при диагностике изменений эмали зуба, обусловленных лучевой терапией.

Учитывая, что этот метод один из немногих, позволяет произвести количественную оценку состояния минерализации твердых тканей зуба, обосновывает необходимость её применения в клинической практике.

Выводы

1. Минерализация твердых тканей зуба в области изменений эмали зуба, обусловленных лучевой терапией, ниже интактной области.
2. Раман-флюоресцентная технология рекомендуется для диагностики изменений эмали зуба, обусловленных лучевой терапией.

Таблица 1. Спектральные характеристики твердых тканей зуба

Объект исследования, n = 25	Верхний уровень (интенсивность сигнала в максимуме/длина волны в максимуме)	Нижний уровень (интенсивность сигнала в минимуме/длина волны в максимуме)	Интенсивность Рамана (отн. ед.)
Инактивный участок	$y = 17329 \pm 0,028,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 16240 \pm 0,55,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 1089 \pm 0,063,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$
Пораженный участок	$y = 7817 \pm 0,034,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 7638 \pm 0,034,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 179 \pm 0,035, x = 963 \text{ см}^{-1}$



Рис. 1. АПК «ИнСпектрМ» со световодной насадкой

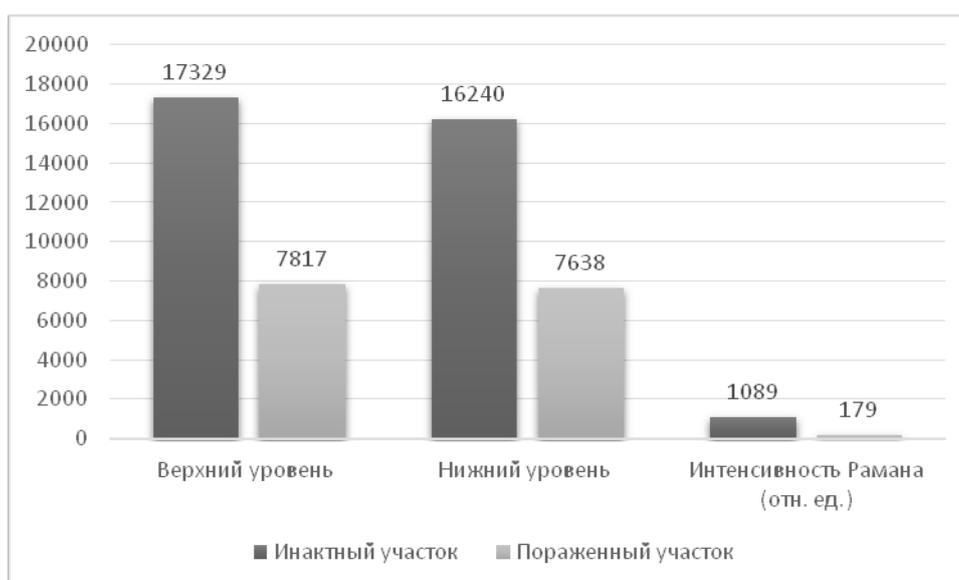


Рис. 2. Спектральные характеристики твердых тканей зуба

ЛИТЕРАТУРА

1. Турсун-заде Р.Т. Оценка распространенности злокачественных новообразований в России с применением модели заболеваемость-смертность. Демографическое обозрение, 2018 5(3), 103–126. [Rustam Tursun-Zade. An evaluation of the prevalence of malignant neoplasms in Russia using an incidence-mortality model. Demograficheskoe obozrenie 2018 5(3), 103–126 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17323/demreview.v5i3.8137>
2. Александров М.Т., Маргарян Э.Г. Применение лазерных технологий в клинике терапевтической стоматологии (обоснование, возможности, перспективы). Российская стоматология. 2017;10(3):31–36. [Alexandrov M.T., Margaryan E.G. Laser technique application in therapeutic dentistry in clinic (rationale, possibilities, perspectives). Russian Stomatology. 2017;10(3):31–36. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/rosstomat201710331-36>
3. Александров М.Т., Кукушкин В.И., Полякова М.А., Новожилова Н.Е., Бабина К.С., Аракелян М.Г., Баграмова Г.Э., Пашков Е.П., Дмитриева Е.Ф. Раман-флуоресцентные характеристики твердых тканей зубов и их клиническое значение. Российский стоматологический журнал. 2018; 22 (6): 276–280. [Aleksandrov M.T., Kukushkin V.I., Polyakova M.A., Novozhilova N.E., Babina K.S., Arakelyan M.G., Bagramova G.E., Pashkov E.P., Dmitrieva E.F. Raman fluorescence characteristics of hard dental tissues and their clinical significance. Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal. 2018; 22(6): 276–280 (In Russ.)] <https://doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-6-276-280>
4. Александров М.Т., Кукушкин В.И., Маргарян Э.Г., Пашков Е.П., Баграмова Г.Э. Возможности и перспективы применения раман-флуоресцентной диагностики в стоматологии. Российский стоматологический журнал. 2018; 22(1): 4–11. [Alexandrov M.T., Pashkov E.P., Bagramova G.E., Kukushkin V.I., Margaryan E.G. Possibilities and perspectives of raman fluorescence diagnostic application in dentistry Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal. 2018; 22(1): 4–11. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18821/0206-4952-2018-39-1-4-11>
5. Kulik L.V., Zhuravlev A.S. "Resonant Raman scattering as a probe of electron spin polarization", 20th International Conference on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics July 22–27 2012, Chamonix, France, Proceedings. 2012; 131.
6. Cecilia Carlota Barrera Ortega / América Vázquez-Olmos / Roberto Ysaac Sato Berrú / Miguel Araiza. //:- Journal of Biomedical Engineering.-: Study of Demineralized Dental Enamel Treated with Different Fluorinated Compounds by Raman Spectroscopy.-: September 2020.-: P. 635–638.

© Нуриева Наталья Сергеевна (natakira@mail.ru), Беляков Герман Игоревич (belyakov-95@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



«Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

РАДИОЧАСТОТНАЯ АБЛЯЦИЯ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДЕКСА АБЛЯЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ

Фаез Афсун

Сердечно-сосудистый хирург, аспирант, ФГАОУ ВО
«Российский университет дружбы народов»
afsoonfayez@gmail.com

Сафонов Никита Владимирович

Сердечно-сосудистый хирург
Городская клиническая больница № 1 им.
Н.И. Пирогова; аспирант, ФГАОУ ВО «Российский
университет дружбы народов»
safon_92@mail.ru

Стеклов Александр Сергеевич

Сердечно — сосудистый хирург, Городская
клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова
Dr.steklov_alexander@mail.ru

Файбушевич Александр Георгиевич

К.м.н, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы
народов»
faibushevich.a@gmail.com

Баранович Владислав Юрьевич

К.м.н, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы
народов»
vubara@yandex.ru

HIGH POWER SHORT DURATION ABLATION USING ABLATION INDEX (AI) IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION

**Fayez Afsoon
N. Safonov
A. Steklov
A. Faybushevich
V. Baranovich**

Summary. In this work, authors evaluated the effectiveness and safety of pulmonary vein isolation (PVI) using high-power short duration ablation. The study was conducted in the period from 2021 to 2022 at the City Clinical Hospital No.1 The study included 30 patients. All operations were performed using the navigation system CARTO® 3 version 6. Ablative electrode THERMOCOOL SMARTTOUCH® SF. RFA was performed with AI 400–450 in posterior wall and 500–550 in the anterior wall with power of 50 watts.

Results. Efficacy of the procedure was 100% in all patients. Within 6 months, AF recurred in 5 patients (16.67%), first round isolation 29/30 (97%). There were no significant intraoperative complications. The total procedure time was 89±13 min.

Conclusions. High-power short duration RFA in patients with atrial fibrillation significantly reduces the operating time, does not increase the incidence of intraoperative complications and is effective in the short term.

Keywords: atrial fibrillation, ablation index, high power.

Аннотация. В данной работе авторами проведена оценка эффективности и безопасности изоляции устьев легочных вен (ЛВ) с проведением абляции высокой мощности. Исследование проводили в период с 2021 по 2022 года в Городской клинической больнице № 1 им. Н.И. Пирогова. В исследование включено 30 пациентов. Все операции проводили с помощью навигационной системы CARTO® 3 версия 6. Абляционный электрод THERMOCOOL SMARTTOUCH® SF. РЧА проводили со значениями индекса абляции (ИА) 400–450 в заднеинferном сегменте и 500–550 в передневерхнем сегменте при мощности 50 Вт. Оценку изоляции ЛВ проводили через 20 минут после проведения РЧА с использованием двадцатиполюсного диагностического электрода.

Результаты. Эффективность изоляции устьев легочных вен составила 100% у всех пациентов. В течение 6 месяцев пароксизмы ФП регистрировались у 5 пациентов (16.67%) Изоляция после первого круга 29/30 (97%). Значимых интраоперационных осложнений выявлено не было. Общее операционное время составило 89±13 мин.

Выводы. проведение РЧА высокой мощности у пациентов с фибрилляцией предсердий значительно снижает операционное время, не увеличивает частоту интраоперационных осложнений и эффективно в краткосрочной перспективе.

Ключевые слова: Фибрилляция предсердий, индекс абляции, высокая мощность.

Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) самая частая аритмия. Риск возникновения ФП увеличивается с возрастом — от <0,5% в возрасте 40–50 лет до 5–15% в возрасте 80 лет. У мужчин ФП развивается чаще, чем у женщин. [1]

В развитых странах в связи с тенденцией к увеличению общей продолжительности жизни ожидается дальнейшее увеличение числа больных с ФП. [1] За последние десятилетия отмечен существенный рост распространенности ФП, показано что в к 2050 г. в США ожидается 6–12 миллионов больных и 17.9 миллионов к 2060 году. [2]

Согласно действующим рекомендациям по катетерной абляции (КА) у больных с фибрилляцией предсердий (ФП) изоляция устьев легочных вен (ЛВ) является ключевым моментом лечения этой аритмии. [1]

Катетеры с возможностью измерения силы контакта сейчас широко используются [1], но несмотря на последние достижения в технологий и методов абляции, частота рецидивов при пароксизмальной и персистирующей форме фибрилляции предсердий остается достаточно высокой.

Создание эффективной зоны повреждения миокарда оказывает значимое влияние на предупреждение рецидивов и возникновения проведения в легочных венах.

Существуют две фазы повреждения клеток после РЧА воздействие (кондуктивное и резистивное). Процесс при резистивном нагревании быстрый (2–3с) и повреждение поверхностное (2–3мм), при кондуктивном нагревании медленный (20–30с), повреждение глубокое (4–8мм). [19]

Стандартное РЧ воздействие при мощности 20–35 вт нагревает ткань свыше 50W и вызывает некроз ткани на 1–1.5мм. Температура окружающей ткани вдали от резистивной зоны начинает снижаться и вызывать обратимое повреждение тканей (кондуктивное нагревание). Если увеличить зону резистивного нагревания, т.е. при применении высокой мощности 40–50 ватт мы вызываем более стойкое повреждение ткани. Частично обратимое повреждение после РЧ воздействия начинается с 45 , свыше 50 не обратимые повреждения (некроз). [19]

Важно равновесие между зонами резистивного и кондуктивного нагревания для создания эффективной зоны повреждения. [19]

Таким образом, в настоящее время проблема ресоединения легочных вен и частота рецидивов ФП после РЧА остается недостаточно изученной. Актуальными остаются вопросы поиска оптимального метода хирургического лечения ФП для улучшения качества жизни пациентов после РЧА, снижение заболеваемости и госпитализации, вследствие хирургических осложнений, а также снижение частоты тромбоэмболических осложнений.

В 2016 году бельгийским электрофизиологом M. Duyschaever был предложен максимально стандартизированный подход к выполнению РЧА с использованием CLOSE протокола. [20] Исследование FIRE and ICE демонстрирует, что эффективность процедуры при использовании CLOSE протокола в течение первого года достигала 64%. Результаты одноцентрового исследования (St. Jan Hospital Bruges, Belgium) показали высокий процент эффективности операции: 94.2% (у 49 пациентов) [8].

В 2018 году Hiroshi Nakagawa разработал индекс абляции. [9]

Индекс Абляция (AI) — новый маркер качественного абляционного повреждения, который анализирует силу контакта, мощность и время воздействия для улучшения результатов РЧА. С помощью этого показателя можно достичь более надежной изоляции при первичной и повторной процедуре. [9]

В настоящее время недостаточно клинических исследований, изучающих проведение процедуры РЧА с применением индекса абляции при использовании высокой мощности.

Мало исследований, которые изучают участки миокарда, где возникает больше всего рецидивов проведения, причины этих рецидивов, а также ведется поиск оптимальных параметров абляции.

В РФ в настоящее время недостаточно данных о применении индекса абляции при высокой мощности.

В частности, не сравнивались эффективность, безопасность, продолжительность выполнения и универсальность операций в зависимости от анатомических особенностей строения ЛП.

В литературе представлены клинические исследования, где изучали индекс абляции у пациентов с ФП при мощности 40–45 ватт, но мало клинических исследований, где применяют индекс абляции при мощности 50.

В нашем исследовании мы изучили результаты абляции при мощности 50 В с применением ИА.

Таблица 1. Демографическая характеристика пациентов.

Показатель n (%)	Количество пациентов (%)
Возраст	66 (47–85)
Мужчины	16 (53.3)
Женщины	14 (46.6)
АГ n (%)	14 (46.6)
Холестерин	11 (36.6)
ИМТ > 25	5 (16.6)
Курение	3 (10)
СД n	5 (16.6)
ИБС	10 (33.3)
Инсульт / ТИА	0 (0)
БАБ	14 (46.6)
БКК	5 (16.6)
Антиаритмики 1 класса	2 (6.6)
Антиаритмики 3 класса	9 (30)
Антикоагулянты	28 (93.3)

Цель

Оценка эффективности и безопасности изоляции устьев легочных вен (ЛВ) с проведением абляции высокой мощности.

Критерии включения: Наличие показаний к РЧА (наличие симптомной и/или резистентности к антиаритмическим препаратам фП)

Критерии исключения

Наличие противопоказаний к проведению изоляции устьев легочных вен.

Первичная конечная точка

Отсутствие ФП в течение 3 месяца. Вторичными конечными точками были отсутствие пароксизмов ФП, задокументированных при ЭКГ или суточном мониторинге ЭКГ по Холтеру (ХМ-ЭКГ) после слепого периода (3 мес).

Материал и методы

Исследование проводили в период с 2021 по 2022 года в Городской клинической больнице № 1 им. Н.И. Пирогова. В исследование включено 30 пациентов, которым были проведены РЧА со значениями индекса абляции (ИА) 400–450 в задненижнем сегменте и 500–550 в передневерхнем сегменте при мощности 50 Вт. Оценку изоляции ЛВ проводили через 20 минут после проведения РЧА с использованием двадцати полюсного диагностического электрода.

Средний возраст больных составил 66 (47–85) лет. Мужчины 53.3%(n=16), женщины 46,6%(n=14), пароксизмальная форма 17(56.6%), персистирующая форма 13(43.3%) основные сопутствующие заболевания артериальная гипертензия 46.6%(n=14) и ИБС 33,33%(n=10), основная ААТ была БАБ 46.6%(n=14). Пациенты включены в исследование после подписания информированного добровольного согласия. Характеристика пациентов представлена в табл. № 1

Перед операцией всем пациентам выполняли трансторакальную и внутрисердечную эхокардиографию с целью исключения структурного заболевания сердца и тромбоза левого предсердия.

Ход операции

Трижды пунктировали правую бедренную вену. Пункция межпредсердной перегородки (МПП) проводилась под контролем внутрисердечной эхокардиографии. С целью достижения интраоперационной гипокоагуляции был введен раствор Гепарин натрий. Референтные значения АСТ (активированное время свертывания) 330–350 сек.

Всем пациентам проводилась изоляция легочных вен с помощью системы трехмерной навигации. Все операции проводили с помощью навигационной системы CARTO® 3 версия 6. Абляционный электрод THERMOCOOL SMARTTOUCH® SF.

Операцию проводили без использования рентгеновского оборудования. РЧА проводилась по стандартам Close protocol (картинка № 1). Инфузию солевого

Таблица 2. Непосредственные интраоперационные результаты

время абляции в каждой точки (сек)	(11.8± 3.8)
время процедуры (мин)	82.6 ± 5
изоляция после 1 круга	29/30(96.6%)
изоляция после 20 мин	30/30 (100%)

Таблица 3. электрофизиологические параметры

Параметры (сред)	wall	A. wall
Импеданс (Base Imp.) Ω	135,326	132,34
Force (сила)	12,41	13,69
AI (индекс абляции)	428,18	511,96
Time (время) (sec)	434,52	563,01
Power (мощность) ват	51,01	50,21
Imp. Drop (снижение импеданса) Ω	9,67	9,80
FTI (интеграл сила времени)	236,93	144,04
Site index(количество точек)	32,83	33,16

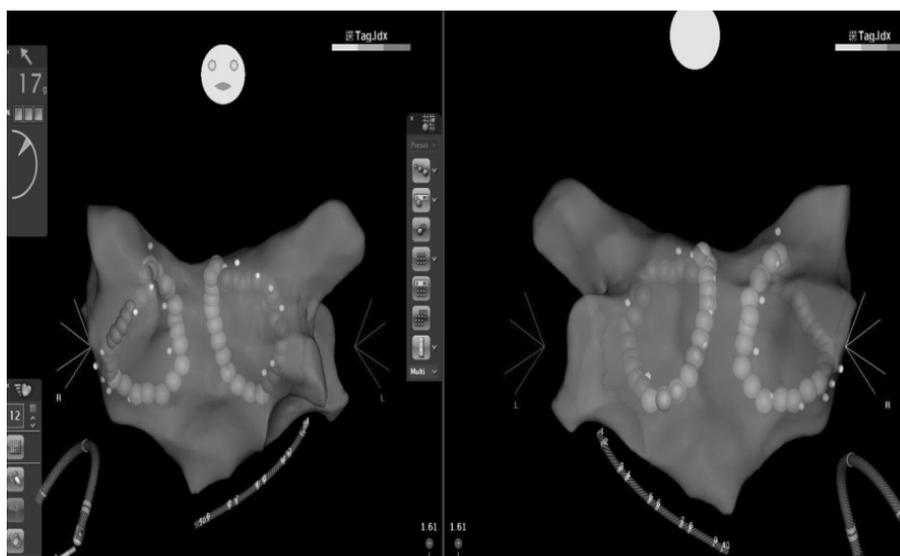


Рис. 1

раствора выполняли со скоростью 15 мл/мин. Линейные воздействия в левом предсердии не проводились. Использовался диагностический 20-полюсной электрод, период ожидания после воздействия — 20 мин. Изоляция легочных вен оценивалась по следующим параметрам: уменьшение амплитуды сигнала с диагностического электрода более чем в 5 раз, отсутствие проведения импульса (блок входа и блок выхода).

Пациентам проводили абляцию с индексом абляции 400–450 по задней стенке и 500–550 по передней стенки и мощностью 50 ватт.

Период отдаленного наблюдения

Период наблюдения составил 6 мес. пациенты были осмотрены через 24 ч после операции, всем пациентам проводился ЭКГ мониторинг, через 6 ч возобновлялась антикоагулянтная терапия. Больным с рецидивирующей ФП в течение 3 мес. после абляции была проведена кардиоверсия, и по показаниям был назначен антиаритмический препарат. Через 3 мес антиаритмическая терапия была отменена, если у пациентов не было предсердной тахикардии по данным ХМ-ЭКГ. Повтор-

Таблица 4. Интраоперационные осложнения

Осложнение	Количество (%)
инсульт/ТИА	0/30 (0)
тампонада п%	0/30 (0)
Феномен steam pops	1/30(3.3)
Предсердно-пищеводная фистула	0(0)
Кровотечение	0(0)
Сепсис	0(0)
Дисфагия	0(0)
Стеноз легочных артерий	0(0)

ную абляцию выполняли, если после 6 мес сохранялись симптомные пароксизмы ФП.

Результаты

У всех пациентов интраоперационно удалось получить критерии изоляции устьев легочных вен. В течение слепого периода (3 мес) пароксизмы ФП регистрировались у 5 пациентов (16,6%). Эффективность операции в течение слепого периода (3 месяца) 25/30 (83%).

Среднее время операции составило 82.6 ± 5 мин. время абляции в каждой точки (сек) — 11.8 ± 3.8 сек. Средняя сила (зад. стенка –12,41, перед. стенка 13,69), Индекс абляции (зад. стенка 428,18, перед. стенка 511,96), снижение импеданса (зад. стенка 9,67 перед. стенка 9,80) электрофизиологические параметры представлены в таблице № 3. Эффективность изоляции устьев легочных вен 20 мин после операции составила 100% у всех пациентов. Непосредственные интраоперационные результаты представлены в таблице № 2. Изоляция после первого круга 29/30 (96.6%). Период отдаленного наблюдения составил 6 месяцев, свобода от ФП 29/30(96.6%). Количество повторных операций 2/30 (6.6%). Интраоперационных осложнений выявлено не было, только в одном случае феномен «steam pop». Осложнения представлены в табл. № 4.

Обсуждение

Подавляющее большинство изоляций лёгочных вен проводится при мощности в 35–40 В. В свою очередь недостаточно рандомизированных исследований, где сообщают о безопасности и эффективности использования РЧА при высокой мощности с использованием индекса абляции. РЧА при высокой мощности широко не используется, существует мнение о том, что это может привести к доставке избыточной радиочастотной энергии исключительно по задней стенке.

Winkle et al. 2019 представили первичные и отдаленные результаты интервенционного лечения 13,974

пациентов. В исследовании были проанализированы осложнения после РЧА с применением высокой мощности, абляция была проведена у 10,284 пациентов. 11,436 абляции по задней стенки при 45–50 ватт в течение 2–10 сек и 2538 абляции с применением 35 ватт на 20 сек и таргетной силой контакта 10–40 g температура пищевода измерялась у 13,858 пациентов.

В заключении авторы отметили, что осложнений при абляции с применением мощности (45–50 ватт) мало и абляция высокой мощности уменьшает время процедуры и она эффективна и безопасна.

Исследования, проведённые по РЧА с применением высокой мощности представлены в таблице № 5

Недостатки этих исследований заключаются в том, что большинство из них были проведены на животных [12,13,16,17,18], в некоторых исследованиях РЧ энергия была доставлена только на ткани желудочков. В одном исследовании использовались разные варианты высокой мощности [12]. Во многих исследованиях операторы и катетеры разные, что также влияет на результат операции. В некоторых исследованиях не были изучены повреждения пищевода, повышение импеданса после РЧ воздействия. В исследовании [14] не было выполнено холтеровское мониторирование, чтобы определить частоту рецидивов после операции. Во многих исследованиях нет совместного применения индекса абляции и высокой мощности.

Результаты нашего исследования совпадают с ранее опубликованными результатами об эффективности и безопасности.

В своей работе мы пришли к выводу, что использование высокой мощности безопасно и эффективно.

Основные результаты нашей работы

1. Абляция с высокой мощностью безопасна и эффективна.

Таблица 5. Исследования по РЧА с применением высокой мощности.

Автор	Исследование	Мощность	длительность	Количество пациентов	Основные результаты
Winkle et al. 2019 ¹¹	Ретроспективное	40–40 W	2–15 сек	13974	При абляции высокой мощности частота осложнений меньше, время РЧА меньше, а также повреждение более стойкое по отношению к абляции низкой мощности
Rosen et al. 2018 ¹²	In vivo	50–90 W	90 W — 4 сек 50 W — 6–10 сек	неизвестно	Использование катетеров QDOT для доставки РЧА с высокой частоты эффективны и безопасны.
Barkagan et al. 2018 ¹³	In vivo	90 W	4 сек	неизвестно	Использование высокой мощности уменьшает время процедуры и РЧА, лучшая зона повреждения, а также эффективно и безопасно по отношению к низкой мощности.
Nilsson et al. 2006 ¹⁴	Cohort study	45 W	40 сек	90	Использование высокой мощности уменьшает время процедуры и РЧА, а также эффективно и безопасно по отношению к низкой мощности.
Bourier et al. 2018 ¹⁵	In silico	50–80 W	6–13 сек	неизвестно	Высокая мощность формирует одинаковый объем повреждения и геометрически отличается по отношению к низкой мощности.
Bhaskaran et al. 2017 ¹⁶	In vitro in vivo	40–80 W 50–80 W	5 сек 5 сек	неизвестно	При высокой мощности повреждение трансмуральное, но эффективно и безопасно как РЧА при низкой мощности
Ali-Ahmed et al. 2019 ¹⁷	In vitro	20–50 W	5–40 сек	неизвестно	РЧА высокой мощности эффективно для формирования зоны повреждения с меньшим коллатеральным повреждением!
Leshem et al 2018 ¹⁸	In vitro In vivo	90 W 90 W	4–8 сек 4 сек	неизвестно	РЧА высокой мощности улучшает формирование зоны повреждения, а осложнений не больше по отношению к РЧА низкой мощности!
Reddy et al. 2019 ¹⁹	In vivo	90 W	4 сек	52	РЧА высокой мощности уменьшает время процедуры, уменьшает объем жидкости для ирригации. Эффективно и безопасно.
Jim O' Brien et al 2021	Ретроспективное	50 W Индекс абляции по задней стенке: >500 Передней стенки >600		88	РЧА с применением высокой мощности ассоциируется с уменьшением времени операции и РЧ воздействия, а также эффективно и безопасно как и РЧА с применением 40–45 ватт.

2. Абляция с высокой мощностью уменьшает общее время процедуры и время абляции.
3. Осложнения, такие как повреждения пищевода, перикардит или тампонада не отмечались при применении высокой мощности.

ВЫВОДЫ

Проведение РЧА высокой мощности у пациентов с фибрилляцией предсердий значительно снижает операционное время, не увеличивает частоту интраоперационных осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) https://scardio.ru/content/Guidelines/2020/Clinic_rekom_FP_TP.pdf
2. Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: An increasing epidemic and public health challenge. *Int J Stroke*. 2021 Feb;16(2):217–221. doi: 10.1177/1747493019897870. Epub 2020 Jan 19. Erratum in: *Int J Stroke*. 2020 Jan 28;:1747493020905964. PMID: 31955707. <https://doi.org/10.1177%2F1747493019897870>
3. Khaykin Y., Oosthuizen R., Zarnett L., Wulffhart ZA., Whaley B., Hill C., Giewercer D., Verma A. CARTO-guided vs. NavX-guided pulmonary vein antrum isolation and pulmonary vein antrum isolation performed without 3-D mapping: effect of the 3-D mapping system on procedure duration and fluoroscopy time // *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. 2011. Vol. 30. № 3. p. 233–240.
4. Martins R.P, Hamon D., Cesari O., Behaghel A., Behar N., Sellal J.M., Daubert J.C., Mabo P., Pavin D. Safety and efficacy of a second-generation cryoballoon in the ablation of paroxysmal atrial fibrillation // *Heart Rhythm*. 2014. Vol. 11. № 3. p. 386–393.
5. Nakamura K., Naito S., Sasaki T., Nakano M., Minami K., Nakatani Y., Ikeda K., Yamashita E., Kumagai K., Funabashi N., Oshima S. Randomized comparison of contact force-guided versus conventional circumferential pulmonary vein isolation of atrial fibrillation: prevalence, characteristics, and predictors of electrical reconnections and clinical outcomes // *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. 2015. Vol. 44. № 3. p. 235–245.
6. Pandya B., Sheikh A., Spagnola J., Bekheit S., Lafferty J., Kowalski Isolation with Cryoballoon Ablation: Results from the Sustained PV Isolation with Arctic Front Advance (SUPIR) Study. // *Journal of cardiovascular electrophysiology*. 2015. Vol. 26. № 5. p. 493–500
7. Knecht S., Taghji P., El Haddad M., Philips T., Wolf M., Vandekerckhove Y., Tavernier R., Nakagawa H., Duytschaever M. Evaluation of a Strategy Aiming to Enclose the Pulmonary Veins With Contiguous and Optimized Radiofrequency Lesions in Paroxysmal Atrial Fibrillation 2018. Vol. 4. № 1.
8. Nakagawa H, Jackman WM. The Role Of Contact Force In Atrial Fibrillation Ablation. *J Atr Fibrillation*. 2014;7(1):1027. Published 2014 Jun 30.
9. Kotadia ID, Williams SE, O'Neill M. High-power, Short-duration Radiofrequency Ablation for the Treatment of AF. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2020;8(4):265–272.
10. Winkle RA, Mohanty S, Patrawala RA, et al. Low complication rates using high power (45–50 W) for short duration for atrial fibrillation ablations. *Heart Rhythm* 2019;16:165–9.
11. Rozen G, Ptaszek LM, Zilberman I, et al. Safety and efficacy of delivering highpower shortduration radiofrequency ablation lesions utilizing a novel temperature sensing technology. *Europace* 2018;20
12. Barkagan M, ContrerasValdes FM, Leshem E, et al. High power and shortduration ablation for pulmonary vein isolation: safety, efficacy, and longterm durability. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2018;29:1287–96.
13. Nilsson B, Chen X, Pehrson S, Svendsen JH. The effectiveness of a high output/short duration radiofrequency current application technique in segmental pulmonary vein isolation for atrial fibrillation. *Europace* 2006;8:962–5.
14. Bourier F, Duchateau J, Vlachos K, et al. Highpower short duration versus standard radiofrequency ablation: Insights on lesion metrics. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2018;29:1570–5.
15. Bhaskaran A, Chik W, Pouliopoulos J, et al. Five seconds of 50–60 W radio frequency atrial ablations were transmural and safe: an in vitro mechanistic assessment and forcecontrolled in vivo validation. *Europace* 2017;19:874–880.
16. AliAhmed F, Goyal V, Patel M, et al. Highpower, lowflow, shortablation durationthe key to avoid collateral injury? *J Interv Card Electrophysiol* 2019;55:9–16.
17. Leshem E, Zilberman I, Tschabrunn CM, et al. High power and shortduration ablation for pulmonary vein isolation: biophysical characterization. *JACC Clin Electrophysiol* 2018;4:467–79.
18. Reddy VY, Grimaldi M, De Potter T, et al. Pulmonary vein isolation with very high power, short duration, temperature controlled lesions: the QDOTFAST trial. *JACC Clin Electrophysiol* 2019;5:778–86.
19. Stabile G, Schillaci V, Strisciuglio T, Arestia A, Agresta A, Shopova G, De Simone A, Solimene F. In vivo biophysical characterization of very high power, short duration, temperature-controlled lesions. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2021 Oct;44(10):1717–1723.
20. Philips T, Taghji P, El Haddad M, Wolf M, Knecht S, Vandekerckhove Y, Tavernier R, Duytschaever M. Improving procedural and one-year outcome after contact force-guided pulmonary vein isolation: the role of interlesion distance, ablation index, and contact force variability in the 'CLOSE'-protocol. *Europace*. 2018 Nov 1;20(FI_3)

© Фаез Афсун (afsoonfayez@gmail.com), Сафонов Никита Владимирович (safon_92@mail.ru),

Стеклов Александр Сергеевич (Dr.steklov_alexander@mail.ru), Файбушевич Александр Георгиевич (faibushevich.a@gmail.com),

Баранович Владислав Юрьевич (vubara@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ЗУБНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЖИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЗОН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

SOME FEATURES OF THE PREVALENCE OF DENTAL DEPOSITS OF RESIDENTS OF DIFFERENT CLIMATIC AND GEOGRAPHICAL ZONES DEPENDING ON THE CHARACTERISTICS OF DRINKING WATER

**I. Shamov
E. Akhmedova
M. Mashchilieva
N. Medzhidova
P. Kudaeva**

Summary. The article carried out an epidemiological dental examination of the adult population in three climatic and geographical zones of the Republic of Dagestan: plain, foothill and mountainous. The prevalence of dental plaque was studied depending on the hydrogeochemical parameters of drinking water: water pH, hardness, fluoride concentration, and the general level of its mineralization.

Keywords: dental deposits, geochemical indicators, drinking water, climatic and geographical zone.

Шамов Ильяс Магомедович

К. м. н., ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России
ilyas.shamov.76@mail.ru

Ахмедова Эльмира Абдурашидовна

К. м. н., ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России
Elmira76@mail.ru

Мащилиева Мадина Мурадовна

К. м. н., ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России
Mash_MM@mail.ru

Меджидова Наида Меджидовна

Ассистент, ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России
NaidaM1973@mail.ru

Кудаева Патимат Дибировна

Ассистент, ФГБОУ ВО ДГМУ Минздрава России
Kudaeva91@mail.ru

Аннотация. В статье проведено эпидемиологическое стоматологическое обследование взрослого населения в трех климатогеографических зонах Республики Дагестан: равнинной, предгорной и горной. Изучена распространенность зубных отложений в зависимости от гидрогеохимических показателей питьевой воды: pH воды, жесткости, концентрации фторидов, общего уровня ее минерализации.

Ключевые слова: зубные отложения, геохимические показатели, питьевая вода, климато-географическая зона.

Одним из первостепенных экологических факторов, формирующих здоровье населения, в том числе стоматологическое, является качество питьевой воды [2, 3, 5, 10]. Одним из основных источников макро- и микроэлементов для человека является питьевая вода.

В результате исследований [4, 8, 9, 11] установлена прямая зависимость между концентрацией фторида и ряда других микроэлементов (кальция, цинка, железа, меди, кобальта) в питьевой воде и микротвердостью эмали и дентина, а также определена обратная зависимость между содержанием микроэлементов в питьевой воде и показателем интенсивности кариеса.

Установлено, что в условиях дефицита цинка и других геохимических элементов в окружающей среде (вода, почва) имеет место поражение зубов кариесом

и неблагоприятное гигиеническое состояние полости рта (ПР) [13]. Накопление микробного фактора (зубных отложений) сочетается со снижением показателей состояния местного иммунитета полости рта (концентрации секреторных иммуноглобулинов — IgA и активности лизоцима слюны) [13]. Существенным фактом является то, что своей функцией IgA препятствуют образованию зубного налета (ЗН) и зубного камня (ЗК).

Имеются данные о влиянии концентрации фторида в питьевой воде на изменение состава и свойств ротовой жидкости и минерального состава ЗН [1, 9, 12]. Считается, что соединения фтора в слюне ингибируют транспорт глюкозы в клетки патогенных бактерий и образование внеклеточных полисахаридов, которые формируют матрицу ЗН. Таким образом, оптимальные концентрации фторида в питьевой воде могут тормозить скорость образования зубных отложений.

Таблица 1. Распространенность зубных отложений в зависимости от показателей минерального состава питьевой воды в различных климатогеографических зонах

Географическая зона	Минеральный состав воды, мг/л				Распространенность зубных отложений, %		
	конц. фторидов	конц. кальция	конц. магния	общий уровень минерализации	мЗН	нЗК	пЗК
Равнинная	0,27 ±0,02	45,63 ±2,71	9,24 ±1,45	276,42 ±45,03	81,11 ± 2,31	56,67 ± 1,44	37,33 ± 1,52
Предгорная	0,63 ±0,03	105,11 ±12,08	16,10 ±4,11	530,34 ±65,06	57,02 ± 2,43	77,87 ± 1,78	30,63 ± 1,34
Горная	0,44 ±0,04	67,32 ±3,88	12,15 ±3,25	407,65 ±43,02	70,99 ± 1,96	77,10 ± 1,55	58,02 ± 1,96

Примечание: мЗН — мягкий зубной налет, нЗК — наддесневой зубной камень, пЗК- поддесневой зубной камень; в таблице даны только достоверные различия ($p < 0,05$).

В литературе представлены в основном работы, посвященные изучению влияния экологических факторов на развитие кариеса зубов и заболеваний пародонта, как наиболее частой патологии полости рта [4, 6, 7].

По мнению многих исследователей одной из причин высокой интенсивности кариеса зубов является низкое содержание фтора в питьевой воде [12].

Считается, что соединения фтора в слюне и ЗН ингибируют транспорт глюкозы в клетки патогенных бактерий и образование внеклеточных полисахаридов, которые формируют матрицу ЗН. Таким образом, оптимальные концентрации фторида в питьевой воде могут тормозить скорость образования зубных отложений.

Недостаточно изучены региональные особенности формирования и распространенности зубных отложений — микробного фактора, являющегося первопричиной разрушения твердых тканей зубов и воспаления тканей пародонта. В этой связи актуальными являются исследования роли природных (климатогеографических) факторов в образовании и распространенности зубных отложений

Проведено эпидемиологическое стоматологическое обследование 947 человек взрослого населения в трех климатогеографических зонах Республики Дагестан: равнинной (450 человек), предгорной (235 человек), горной (262 человека).

Стоматологическое обследование включало изучение состояния твердых тканей зуба, тканей пародонта и оценку гигиены ПР с использованием стандартного набора стоматологических инструментов по общепринятой методике. Данные обследования фиксировали в специально разработанной карте для оценки стоматологического статуса.

Изучали распространенность зубных отложений в зависимости от гидрогеохимических показателей питьевой воды: рН воды, жесткости, концентрации фторидов, общего уровня ее минерализации. Рассматривали также частоту образования ЗН (мягкий зубной налет — мЗН) и ЗК (наддесневой зубной камень — нЗК, поддесневой зубной камень — пЗК) в зависимости от минерального состава питьевой воды.

Распространенность и особенность образования зубных отложений оценивали с помощью индексов OHI-S по Green-Vermillion (1964), зубного налета Silness-Loe (1964), PHP по Podshadley-Haley (1968).

Санитарно-гигиеническое исследование питьевой воды в изучаемых климатогеографических зонах включало определение показателей: рН, жесткости, концентраций фторидов, кальция, магния и общего уровня минерализации.

В районах обследования, различных по географическому расположению, геохимическим и экологическим природным факторам, выявлена различная частота распространения зубных отложений (рис. 1). Наблюдали достоверную зависимость ($p < 0,01$) между распространенностью зубных отложений и географической зоной проживания.

В равнинной зоне отмечена наиболее высокая распространенность мЗН (81,11 ± 2,31%), Распространенность нЗК была выше у жителей предгорной (77,87 ± 1,78%) и горной (77,10 ± 1,55%) зоны, пЗК — у проживающих в горных районах (58,02 ± 1,96%).

Выявлены достоверные различия ($p < 0,01$) при изучении распространенности зубных отложений у городского и сельского населения. Распространенность мЗН была выше у городских жителей (80,8 ± 2,49%)

Таблица 2. Гидрогеохимическая характеристика воды и распространенность зубных отложений

Географическая зона	Геохимические показатели воды			Распространенность зубных отложений, %		
	pH	жесткость мг-экв/л	фториды мг/л	мЗН	нЗК	пЗК
Равнинная	6,51±0,03	3,54±0,31	0,27±0,02	81,11 ± 2,31	56,67 ± 1,44	37,33 ± 1,52
Предгорная	7,72±0,04	7,18±0,72	0,63±0,03	57,02 ± 2,43	77,87 ± 1,78	30,63 ± 1,34
Горная	7,50±0,05	5,64±0,44	0,44±0,04	70,99 ± 1,96	77,10 ± 1,55	58,02 ± 1,96

Примечание: мЗН — мягкий зубной налет, нЗК — наддесневой зубной камень, пЗК — поддесневой зубной камень; в таблице даны только достоверные различия ($p < 0,05$).

по сравнению с сельским населением ($73,4 \pm 1,87\%$). В то же время пЗК выявляли в два раза чаще у сельских жителей ($41,39 \pm 1,44\%$), чем у городских ($27,2 \pm 1,13\%$) ($p < 0,01$).

Среди наиболее важных экологических факторов, влияющих на здоровье человека, в том числе состояние зубочелюстной системы, одно из первых мест занимает качество питьевой воды, в частности ее минеральный состав, жесткость, водородный показатель.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что длительное употребление питьевой воды с различным уровнем минерализации изменяет минеральный баланс среды ПР и способствует накоплению зубных отложений (табл. 1).

В климатогеографической зоне (равнина), где используется питьевая вода с пониженным уровнем минерализации ($276,42 \pm 45,03$ мг/л), была выявлена наибольшая распространенность мЗН ($81,11 \pm 2,31\%$). Увеличение фторидно-кальциевого насыщения питьевой воды приводит к снижению распространенности мЗН. У жителей предгорной зоны, употребляющих воду с оптимальным уровнем минерализации ($530,34 \pm 65,06$ мг/л), снижено образование мягких зубных отложений ($57,02 \pm 2,43\%$).

Наименьшая частота мЗН ($57,02 \pm 2,43\%$) отмечена в условиях использования питьевой воды с повышенным содержанием кальция — $105,11$ мг/л, оптимальным — магния — $16,1$ мг/л и средним фтора — $0,63$ мг/л.

При использовании воды с оптимальной концентрацией кальция — $67,32$ мг/л, средней — магния — $12,15$ мг/л и низкой — фтора — $0,44$ мг/л, распространенность мЗН была выше ($70,99 \pm 1,96\%$). Длительное использование питьевой воды с низким уровнем минерализации ($276,42$ мг/л) способствует высокой распространенности мЗН.

У лиц, употребляющих воду с оптимальным и повышенным уровнем минерализации ($407,65$ и $530,34$ мг/л), отмечено повышенное образование зубного камня. нЗК выявляли в $77,87 \pm 1,78\%$ случаев при употреблении воды с повышенным содержанием кальция — $105,11$ мг/л и оптимальным — магния — $16,1$ мг/л; в $77,10 \pm 1,55\%$ случаев при употреблении воды с оптимальной концентрацией кальция — $67,32$ мг/л и средним уровнем магния — $12,15$ мг/л.

В то же время высокое содержание ионов кальция и магния в питьевой воде с оптимальным и повышенным уровнем минерализации привело к повышенному образованию нЗК у жителей предгорной и горной зоны ($77,87 \pm 1,78\%$ и $77,10 \pm 1,55\%$). У людей, употребляющих воду с низким содержанием кальция и магния ($45,63 \pm 2,71$ мг/л и $9,24 \pm 1,45$ мг/л соответственно), распространенность нЗК была в 1,4 раза ниже.

Повышенное образование пЗК наблюдали у жителей горной зоны, где питьевая вода содержит оптимальную концентрацию кальция ($67,32 \pm 3,88$ мг/л) и среднюю магния ($12,15 \pm 3,25$ мг/л) — средний уровень минерализации ($407,65 \pm 43,02$ мг/л). При снижении концентрации кальция и магния в питьевой воде на равнине распространенность пЗК снижалась в 1,6 раза. Имелась тенденция к дальнейшему уменьшению частоты образования пЗК ($30,63 \pm 1,34\%$) в предгорной зоне с оптимальным уровнем минерализации, повышенной концентрацией кальция и оптимальным содержанием магния.

Частота встречаемости мЗН увеличивается с уменьшением жесткости воды (табл. 2). Так при общей жесткости $7,18 \pm 0,72$ мг-экв/л (жесткий тип воды) распространенность мЗН составляет $57,02 \pm 2,43\%$, при жесткости $5,64 \pm 0,44$ мг-экв/л — $70,99 \pm 1,96\%$, и при жесткости $3,54 \pm 0,31$ мг-экв/л (мягкий тип воды) — $81,11 \pm 2,31\%$. Распространенность мЗН в меньшей степени зависела от водородного показателя воды мЗН встречался

в $81,11 \pm 2,31\%$ случаев при употреблении воды с показателем $pH = 6,51$, в $57,02 \pm 2,43\%$ случаев — при $pH = 7,72$, в $70,99 \pm 1,96\%$ случаев — при $pH = 7,50$. Отмечено, что с увеличением водородных ионов интенсифицируется образование мЗН.

Повышение щелочности питьевой воды приводит к увеличению распространенности нЗК. У людей, постоянно употребляющих воду мягкого типа (жесткость $3,54 \pm 0,31$ мг-экв/л), нЗК выявляли реже — в $56,67 \pm 1,44\%$ случаев. Использование питьевой воды средней жесткости ($5,64 \pm 0,44$ мг-экв/л) способствует росту частоты образования нЗК до $77,10 \pm 1,55\%$. В районах, где питьевая вода относится к жесткому типу ($7,18 \pm 0,72$ мг-экв/л), отмечена высокая распространенность нЗК — $77,87 \pm 1,78\%$.

Распространенность пЗК в меньшей степени зависела от гидрогеохимических характеристик воды. Так, высокая частота образования пЗК ($58,02 \pm 1,96\%$) наблюдалась у жителей горных районов с водородным показателем питьевой воды $7,50 \pm 0,05$ и средним уровнем жесткости воды — $5,64 \pm 0,44$ мг-экв/л. На равнине с понижением щелочности воды распространенность пЗК была ниже ($37,33 \pm 1,52\%$), чем в горной зоне. В предгорных районах, где отмечена повышенная жесткость питьевой воды, пЗК диагностировали реже — в $30,63 \pm 1,34\%$ случаев

Выявлены особенности распространения и образования зубных отложений у жителей различных климатогеографических зон Республики Дагестан в зависимости от показателей минерального состава питьевой воды. Сделан вывод, что длительное употребление питьевой воды с различным уровнем минерализации изменяет минеральный баланс среды полости рта и способствует накоплению зубных отложений.

Так, частота встречаемости мягкого зубного налета увеличивалась с понижением щелочности и минерализации

воды и, наоборот, — увеличение жесткости воды ведет к повышенному образованию наддесневого зубного камня. Распространенность поддесневого зубного камня в меньшей степени зависела от геохимических характеристик воды.

Высокое содержание ионов кальция и магния в питьевой воде с оптимальным и повышенным уровнем минерализации способствует снижению распространенности мягкого зубного налета и повышенному образованию наддесневого зубного камня у жителей предгорной и горной зоны. При снижении концентрации кальция и магния в питьевой воде на равнине распространенность над- и поддесневого зубного камня снижалась в 1,4–1,6 раза.

При составлении комплексных программ профилактики стоматологических заболеваний у взрослого населения необходимо учитывать неблагоприятное воздействие геохимических факторов окружающей среды. Проводить контроль режима питания и питья с учетом особенностей конкретного региона.

Комплекс профилактики, проводимый на фоне общеоздоровительных процедур, разработанных с учетом региональных факторов риска, является наиболее эффективным по контролю образования зубных отложений. Индивидуализированный подход к выбору средств оральной гигиены, который основан на учете возраста пациента, кислотно-основного равновесия полости рта и показателей стоматологического статуса, а также геохимических факторов ведет к значительному повышению их лечебно-профилактической эффективности.

Наиболее целесообразным направлением в профилактической стоматологии может стать разработка и внедрение системы мер профилактики с учетом региональных (эколого-гигиенических) и индивидуальных (поведенческих) факторов риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адмакин О.И. Стоматологическая заболеваемость населения в различных климатогеографических зонах России: Автореферат дисс. ... канд. мед. наук. — М., 2009. — 20 с.
2. Варламов П.Г. Распространенность и интенсивность кариеса зубов у взрослого населения центральной Якутии. // «Современные стоматологические технологии». — Барнаул, 2006. — С. 27–30.
3. Васильев В.Г., Сергеева Н.Д., Кицул И.С., Шкавро Т.К. Изучение ряда социально-гигиенических факторов, влияющих на стоматологическую заболеваемость подростков. // Клиническая стоматология. 2014. № 6. С. 48–52.
4. Данилов Е.О., Григорьев В.А. Характеристика стоматологической заболеваемости населения Ленинградской области по данным эпидемиологического обследования. // Пародонтология. 2016. № 4. С. 37–41.
5. Кузьмина Э.М. Современные принципы профилактики стоматологических заболеваний. // Стоматология. 2005. № 3. С. 32–36.
6. Мозговая Л.А., Вишневская Н.Л., Сивак Е.Ю., Соснин Д.Ю. Состояние твердых тканей зубов и пародонта в зависимости от минерального состава питьевой воды. // Стоматология. 2012. № 5. С. 51–54.

7. Новиков Ю.В., Сайфутдинов М.М. Изучение факторов окружающей среды и их влияние на здоровье населения в районе бассейна Сев. Двины // Экология человека. 2001. № 2. С. 18–22.
8. Оскольский Г.И., Горнов Н.В., Макогон М.Б., Мацюпа Д.В., Потопяк В.Д. Распространенность и интенсивность кариеса зубов у населения Дальневосточного региона. // Современные стоматологические технологии. — Барнаул, 2006. С. 10–13.
9. Рахманов Х.Ш., Ирсалиев Х.И., Хабилов Н.Л., Байбеков И.М. Особенности твердых и мягких дентальных налетов у жителей Узбекистана. // Маэстро стоматологии. 2002. № 4 (9). С. 46–47.
10. Севбитов А.В. Стоматологическая заболеваемость населения, проживающего в радиационно-загрязненных регионах. // Материалы X и XI Всерос. научно-практич. конференции и труды VIII съезда СТАР. — М., 2003. — С. 357–358.
11. Скляр В.Е., Косенко К.Н., Клименко В.Г. Влияние различных концентраций фтора, кальция и магния в питьевой воде на распространенность болезней зубов и тканей пародонта. // Гигиена и санитария. 2000. № 8. С. 21–23.
12. Скудный В.Ф., Зайцева А.В. Влияние минерального состава питьевой воды на заболеваемость зубов. // Клиническая стоматология. 2006. № 4. С. 59–62.
13. Цимбалистов А.В. Соотношение макро- и микроэлементов в питьевой воде и организме человека у жителей Санкт-Петербурга. // Стоматология. 2016. № 4. С. 33–36.

© Шамов Ильяс Магомедович (ilyas.shamov.76@mail.ru), Ахмедова Эльмира Абдурашидовна (Elmira76@mail.ru),
 Машилиева Мадина Мурадовна (Mash_MM@mail.ru), Меджидова Наида Меджидовна (NaidaM1973@mail.ru),
 Кудаева Патимат Дибировна (Kudaeva91@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Дагестанский государственный медицинский университет

НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

Abilev S. — Doctor of biological sciences, professor, Institute of General Genetics. N.I. Vavilov RAN, Moscow
abilev@vigg.ru

Afanasyev S. — PhD in Law, Leading Specialist, Big Data Storage and Analysis Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow
sergei.afanasev@digital.msu.ru

Agapova M. — Maxillofacial surgeon of the Family Medicine Clinic, correspondence postgraduate student, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko of the Ministry of Health of Russia
magapova03@yandex.ru

Akhmedova E. — Ph.D., Associate Professor, FSBEI HE "Dagestan State Medical University", Ministry of Health of the Russian Federation
Elmira76@mail.ru

Aliyeva G. — Candidate of biological sciences, Sumgayit State University, Republic of Azerbaijan, Sumgayit city
article_1@mail.ru

Ataev A. — MD, Professor, Dagestan Universal University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Makhachkala)
drataev57@mail.ru

Ataeva L. — Clinical resident of the RNIMU named after N.I. Pirogov

Ataev E. — Candidate of Medical Sciences, Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Ministry of Health of the Russian Federation (Moscow)
elddar833@yandex.ru

Bakshaliyeva K. — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku
konul.baxsh@mail.ru

Baranovich V. — Candidate of Medical Sciences Associate, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia»
vubara@yandex.ru

Belogortseva A. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
anastasia-1911@yandex.ru

Belskaya K. — Candidate of Medical Sciences, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health России
Belskaya.k.a@gmail.com

Belyakov G. — Postgraduate student, South Ural State Medical University, Chelyabinsk
belyakov-95@mail.ru

Brizhaneva A. — Graduate student, Belgorod State National Research University
brizhaneva.anastasya@yandex.ru

Buchneva V. — PhD, Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
ortstomagmu@ya.ru

Buryakova O. — Ph.D., Don State Technical University
buryakovaos@yandex.ru

Chadova I. — Ph. D., associate professor, North-Caucasus Federal University
innachadova@yandex.ru

Cherkesova L. — DSc., Don State Technical University
chia2002@inbox.ru

Chiskidov S. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, Khimki
chis69@mail.ru

Chotchaev R. — Institute «Medical Academy named after S.I. Georgievsky Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol
abdullakh.chotchaev@mail.ru

Dobychina M. — Institute «Medical Academy named after S.I. Georgievsky Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol
mashulyavalerievna@mail.ru

Drup V. — Candidate of Biological Sciences, Stavropol State Pedagogical Institute
Sylvia_vica@mail.ru

Dzgoeva M. — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, North Ossetian State Medical Academy
madina-dzgoeva@mail.ru

Dzgoeva Z. — Assistant, North Ossetian State Medical Academy
dzgoeva55@gmail.com

Dzhambetova P. — Doc. Biology, Professor, FGBOU VO «Chechen State University. A.A. Kadyrov, Grozny
petimat-ig@rambler.ru

Faybushevich A. — Candidate of Medical Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia»
faibushevich.a@gmail.com

Fayez Afsoon — Cardiovascular surgeon, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia»
afsoonfayez@gmail.com

Fedorovna K. — Assistant, Don State Technical University

Fernando N. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
toprikova@mail.ru

Filin A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko of the Ministry of Health of Russia
filinan@yandex.ru

Fishev S. — MD, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
super.kant@yandex.ru

Fishev S. — MD, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
super.kant@yandex.ru

Grishmanovskaya O. — Graduate student, Surgut State University
grishmanovskaya_on@surgu.ru

Grishmanovsky P. — Ph.D., Associate Professor, Surgut State University
grishmanovskiy_pv@surgu.ru

Gurevich Yu. — PhD, Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
ortstomagmu@ya.ru

Guzeva S. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Tyumen Industrial University
nesterka07@mail.ru

Hasanova K. — Senior Lecturer, Azerbaijan State Agrarian University, Ganja
konul.qasanova.86@mail.ru

Ismayilova G. — Ph.D., Institute of Petrochemical Processes named after Y. Mammadaliyev of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
azmbi@mail.ru

Ivanova T. — FGBU IN Tverskaya GMU Ministry of Health of Russia, t. Tver
tasya1608tas@mail.ru

Kallaev R. — MD, Dagestan Sociological University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Makhachkala)
nazhmudin_K@mail.ru

Kanukova L. — Assistant, the North Ossetian State Medical Academy
kanukova45@gmail.com

Karpin V. — Doctor of medical sciences, Surgut state university
kafter57@mail.ru

Karutskaya O. — Graduate student, Belgorod State National Research University

Kasymov A. — Postgraduate student, Voronezh State Technical University
kasimlele@live.ru

Kharitonov D. — MD, Professor, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko of the Ministry of Health of Russia
duhdoct@mail.ru

Kipyatkov N. — PhD, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of Russia
fd@pnd1.spb.ru

Kishkan A. — Graduate student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Kishkan92@bk.ru

Kogan M. — Doctor emeritus, GBUZ «Regional Maternity Home», t. Tver

Kokoev A. — Assistant, North Ossetian State Medical Academy
kokoevazamat@yandex.ru

Komarov R. — PhD, cardiovascular surgeon, First Moscow State Medical University named I.M. Sechenova (Sechenov University)
komarovroman@rambler.ru

Kondratyuk A. — PhD, Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
kondratyuk.andrey@icloud.com

Kovrova E. — Leading Specialist, Big Data Storage and Analysis Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow
lubomirova.ek@digital.msu.ru

Kozlova A. — Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, N. Novgorod
akatoe-nn@yandex.ru

Kozmin G. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk
rirae70@yandex.ru

Kudaeva P. — Assistant, FSBEI HE “Dagestan State Medical University”, Ministry of Health of the Russian Federation
Kudaeva91@mail.ru

Kulemin Yu. — Junior researcher of Kuzbass botanical garden Federal research center of coal and coal chemistry SB RAS, Kemerovo
kulemin_y@mail.ru

Kuprijanov A. — Professor, Kuzbass botanical garden Federal research center of coal and coal chemistry SB RAS, Kemerovo
kupr-42@yandex.ru

Kuzmina L. — Assistant Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
rozmaria2010@yandex.ru

Lyashenko E. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Institute “Medical Academy named after S.I. Georgievsky Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol
helen.lyashen@mail.ru

Lyashenko K. — Don State Technical University
reusn@mail.ru

Machigov E. — Graduate student, Institute of General Genetics. N.I. Vavilov RAS, Moscow
elbek_machigov@mail.ru

Magaramov A. — Assistant, Dagestan Universal University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Makhachkala)
abdulla-magaramov@yandex.ru

Magomedov K. — Doctor of Technical Sciences, Professor, State Autonomous Institution of Higher Education «Dagestan State University of National Economy», Makhachkala
mka-igumo@mail.ru

Makarova E. — Ph. D., associate professor, North-Caucasus Federal University
angeldeplata@mail.ru

Mammadova M. — Dissertation student, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku
mehribanmemmedova1984@gmail.com

Mashchilieva M. — Ph.D., Assistant, FSBEI HE “Dagestan State Medical University”, Ministry of Health of the Russian Federation
Mash_MM@mail.ru

Matsuganov D. — Cardiovascular surgeon, Chelyabinsk Regional Clinical Hospital
denmacug@yandex.ru

Maximov Yu. — Postgraduate student, Voronezh State Technical University
yuramaximo@mail.ru

Medzhidova N. — Assistant, FSBEI HE “Dagestan State Medical University”, Ministry of Health of the Russian Federation
NaidaM1973@mail.ru

Mikhaelis S. — Candidate of Pedagogics, Assistant professor, Irkutsk State University of Railway Transport
msibgu@rambler.ru

Mikhaelis V. — Candidate of Pedagogics, Assistant professor, Irkutsk State University of Railway Transport
mvv_1967@mail.ru

Mikhaleva T. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow City University (MCU), Moscow
ermaktat@bk.ru

Mirzoev N. — Candidate of Medical Sciences, Dagestan Sociological University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Makhachkala)

Mlynar E. — PhD in Biology, The Far Eastern State Medical University, Khabarovsk
mlynar@bk.ru

Naumov M. — Post-graduate student, Moscow City University (MCU), Moscow
manaumoo@yandex.ru

Nechaeva Yu. — Assistant lecturer, FGBU IN Tverskaya GMU Ministry of Health of Russia, t. Tver

Nurieva N. — Doctor of Medical Sciences, South Ural State Medical University, Chelyabinsk
natakipa@mail.ru

Nuzhdin M. — PhD, cardiovascular surgeon, Chelyabinsk Regional Clinical Hospital
mikhailnuzhdin@hotmail.ru

Oreshaka O. — MD, Professor, Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
ortstomagmu@ya.ru

Orlova I. — PhD, Associate Professor, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
orisha@mail.ru

Petushkov I. — FGAO B First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Ministry of Health of the Russian Federation, t. Moscow

Popov V. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Porksheyan V. — Ph.D., Associate Professor, Don State Technical University
spu-40@donstu.ru

Puzdyreva M. — PhD, Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
seven-spb@yandex.ru

Puzdyreva M. — PhD, Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
seven-spb@yandex.ru

Rakov D. — Leading Specialist, Big Data Storage and Analysis Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow
rakov.d@digital.msu.ru

Remizova A. — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, North Ossetian State Medical Academy

Reshetnikova O. — Russian Customs Academy, Rostov branch
irina_reshetnikova@mail.ru

Revyakina E. — Ph.D., Don State Technical University
revyelena@yandex.ru

Romanov D. — Postgraduate Student, Don State Technical University Abstract

Rozhkova M. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
rozmaria2010@yandex.ru

Rozhkova M. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
rozmaria2010@yandex.ru

Safonov N. — Cardiovascular surgeon, Postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia»
safon_92@mail.ru

Sakaeva K. — I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
SacaevaK67@yandex.ru

Sakaeva Z. — Assistant, North Ossetian State Medical Academy
sacaevazarina54@mail.com

Samoylenko T. — Candidate of Biological Sciences, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko of the Ministry of Health of Russia
antailkka@mail.ru

Seifulina G. — Candidate of Biological Sciences, Stavropol State Pedagogical Institute
seif.gala@mail.ru

Serdyukova A. — Graduate student, Belgorod State National Research University
Serdukova.an@mail.ru

Sevastyanov A. — MD, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
ardy.dkr@mail.ru

Sevastyanov A. — MD, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
ardy.dkr@mail.ru

Shamov I. — Ph.D., Associate Professor, FSBEI HE “Dagestan State Medical University”, Ministry of Health of the Russian Federation
ilyas.shamov.76@mail.ru

Shapovalov S. — Applicant, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology

Shishko T. — Assistant, «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation
tat-sh04@rambler.ru

Shuvalova O. — PhD (Medicine), Surgut state university
shuvalova78@mail.ru

Shvets M. — PhD, Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
ortstomagmu@ya.ru

Sokolov V. — Medical Academy of Crimean Federal University
sokolovvlad77@mail.ru

Steklov A. — Cardiovascular surgeon, City Clinical Hospital No. 1 named after N.I. Pirogova
Dr.steklov_alexander@mail.ru

Streltsov R. — Postgraduate student, GAU of the Northern Trans-Urals
berserk-1991@yandex.ru

Sumenkova O. — Postgraduate student, Tyumen Industrial University
sumenkova_1998@mail.ru

Tomshin E. — Postgraduate student, The Kosygin State University of Russia
et@avsb.ru

Trautvain S. — Ph.D., North Caucasus Federal University
svet-sk@yandex.ru

Trints D. — Senior Lecturer, Don State Technical University

Tymchuck A. — Applicant, Kuban State Technological University
alextimchuck@gmail.com

Vasilyeva N. — Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
vas.nell@yandex.ru

Voronin T. — Specialist, Big Data Storage and Analysis Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow
voronin@digital.msu.ru

Vorzhev V. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Don State Technical University
caroling@mail.ru

Yengibaryan I. — Ph.D., Don State Technical University
eirina@live.ru

Zhdanov P. — PhD student, ITMO University, St. Petersburg
pszhdanov@itmo.ru

Zhigulsky V. — Graduate student, National Research University ITMO
upachko@gmail.com

Zlobina E. — Postgraduate student, South Ural State Medical University
fluchi@mail.ru

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 допускаются.
- ◆ 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).

