

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL
JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL
RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,593

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,299

№ 8 2025

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент Хайдаров А.Г. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,593.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,299.

Учредитель, издатель и редакция:

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 29.08.2025

Дата выхода номера – 30.09.2025

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространяется по свободной цене

Усл. печ. л. 10,25

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2025/8

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

- СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИШАЙНИКЕ
HYPOGYMNA PHYSOIDES НА МОЖЖЕВЕЛЬНИКЕ
 НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА
Катаева М.Н., Беляева А.И. 7

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ
 СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ У ДЕТЕЙ С ЗАДЕРЖКОЙ
 РЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ, ЗАДЕРЖКОЙ ПСИХОРЕЧЕВОГО
 РАЗВИТИЯ И УМСТВЕННОЙ ОТСТАЛОСТЬЮ
Батчаев А.С-У., Батчаев А-Д.А. 14
- ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТА
 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО
 ИНТЕЛЛЕКТА: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ В РОССИИ
 И ЗА РУБЕЖОМ, СЛАБЫЕ ЗОНЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ
Петрушина М.В., Изотов О.И. 20
- КОМБИНИРОВАННАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ
 ВЕНТИЛЯТОР-АССОЦИИРОВАННОЙ ПНЕВМОНИИ
Чеченин М.Г., Дубровин А.А., Малярова О.Г., Величко А.Я. 27

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

- ЛЕЙОМИОМА МАТКИ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ
 И СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ЛЕЧЕНИЯ
Третьякова Н.В., Рыскельдиева В.Т. 38

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ДИНАМИЧЕСКОЕ УХУДШЕНИЕ ДАННЫХ
 КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
 ГЕНЕРАТИВНО-СОСЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ
Ананченко И.В., Добровольский Д.К., Уруймагов Я.Г. 46
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ
 ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЯ
Архиреева В.Д., Шарабаева Л.Ю. 52

ТЕХНОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СКЛАДИРОВАНИЯ
ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ

Цыганков Д.А. 59

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОН
В ИЗДЕЛИЯХ ДЛЯ НЕЙРОХИРУРГИИ

Русских В.А. 66

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

КАЧЕСТВЕННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПРОТОПИНА
В ТРАВЕ *MACLEAYA CORDATA* И *MACLEAYA*
MICROCARPA МЕТОДОМ ГАЗО-ЖИДКОСТНОЙ
ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Копытько Я.Ф. 71

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДИАЛЬДЕГИДА ПЕКТОВОЙ КИСЛОТЫ

Серикова Л.В., Прохоренко В.А., Ли С.П., Худайбергенова Э.М. 77

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLE

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN LICHEN *HYPOGYMNA
PHYSODES* ON THE COMMON JUNIPER IN THE SOUTHERN
LADOGA COAST

Kataeva M.N., Belyaeva A.I. 7

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

THE PROGNOSTIC VALUE OF THE STUDY OF THE AUDITORY
SYSTEM IN CHILDREN WITH SPEECH RETARDATION, DELAYED
SPEECH DEVELOPMENT AND MENTAL RETARDATION

Batchaev A.S-U., Batchaev A-D.A. 14

PROTECTION OF PATIENTS' PERSONAL DATA WHEN
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES:
CURRENT STATE OF THE PROBLEM IN RUSSIA AND
ABROAD, WEAKNESSES AND MODERN TRENDS

Petrushina M.V., Izotov O.I. 20

COMBINED KINETIC THERAPY OF VENTILATOR-ASSOCIATED
PNEUMONIA

Chechenin M.G., Dubrovin A.A., Malyarova O.G., Velichko A.Ya. 27

REVIEW

UTERINE LEIOMYOMA: PROBLEM STATE AND MODERN
THERAPEUTIC STRATEGY

Tretyakova N.V., Ryskeldieva V.T. 38

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

DYNAMIC DATA DEGRADATION AS A TOOL TO IMPROVE
THE STABILITY OF GENERATIVE-ADVERSARIAL NETWORKS

Ananchenko I.V., Dobrovolskiy D.K., Uruymagov Ya.G. 46

DESIGNING AND DEVELOPING A WEB APPLICATION
FOR AN INDIVIDUAL ENTREPRENEUR

Arkhireeva V.D., Sharabaeva L.Yu. 52

TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTALLY SAFE STORAGE
OF COAL BENEFICIATION WASTE

Tsygankov D.A. 59

REVIEWREVIEW OF THE USE OF POLYETHERETHEREKETONE
MATERIAL IN NEUROSURGERY PRODUCTS*Russkikh V.A.* 66**PHARMACEUTICAL SCIENCES****ARTICLE**QUALITATIVE DETECTION OF PROTOPINE IN MACLEAYA
CORDATA AND MACLEAYA MICROCARPA HERBA
BY GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHIC MASS SPECTROMETRY*Kopytko Ya.F.* 71**CHEMICAL SCIENCES****ARTICLE**SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING DIALDEHYDE
OF PECTIC ACID*Serikova L.V., Prokhorenko V.A., Li S.P., Khudaibergenova E.M.* 77

СТАТЬЯ

УДК 574.472:582.29

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИШАЙНИКЕ
HYPOGYMNNIA PHYSODES НА МОЖЖЕВЕЛЬНИКЕ
НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА**

Катаева М.Н., Беляева А.И.

*ФГБУН Ботанический институт имени В.Л. Комарова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, e-mail: mkmarikat@gmail.com*

На территории южного Приладожья (Ленинградская область) в прибрежных сообществах можжевельника обыкновенного в местообитаниях на сухих и живых ветвях, на сухостое изучены особенности накопления микроэлементов и сделаны оценки биомассы лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae). Концентрации определены методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Проведена оценка водоудерживающей способности субстратов в кронах можжевельника в связи с жизненным состоянием. Она изучена в трех типах местообитаний лишайника – ветви сухостойных кустарников, сухие и живые ветви в кроне. Водоудерживающая способность ветвей сухостойных кустарников (72,7 %) и живых ветвей различается в 2,34 раза. В сообществах можжевельника местообитания на сухих ветвях и сухостое более благоприятные. Ветви сухостойных можжевельников превосходят по этому показателю местообитания на сухих ветвях крон (до 1,64 раза). Выявлены особенности накопления микроэлементов в лишайнике на стволах и ветвях можжевельника и рябины. По сравнению с можжевельниковыми сообществами Приладожья, в северной Карелии лишайник накапливает более высокие концентрации Cu и Ni (в 2,4–3,4 раза выше соответственно). В южном Приладожье лишайник содержит более высокие концентрации тяжелых металлов относительно юго-восточного побережья, что связано с более интенсивным влиянием городской среды.

Ключевые слова: Ленинградская область, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Juniperus communis*, водоудерживающая способность

Работа выполнена по плановой теме НИР 2021–2025 гг. № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации».

**THE CONTENT OF HEAVY METALS IN LICHEN
HYPOGYMNNIA PHYSODES ON THE COMMON JUNIPER
IN THE SOUTHERN LADOGA COAST**

Kataeva M.N., Belyaeva A.I.

*Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, e-mail: mkmarikat@gmail.com*

Concentrations of microelements in thalli epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) in the southern coast of the Ladoga Lake (Leningrad Region) in habitats of dead branches, green branches with needles in crowns of common juniper and branches of dead wood with outer bark were determined. The assessments of biomass of lichen on branches were performed. Concentrations were determined by means atomic absorption spectrometry. The assessment of water retention ability of substrates in crowns in relation of vital state of juniper was made. It was studied in three types of habitats – branches of dead wood, dead and green branches with needles in crowns of common juniper. Water retention ability of branches on juniper dead wood (72,7 %) and green branches differs by 2,34 times. Dead branches in crowns and dead wood of juniper in communities are more favorable habitats. Water retention of branches of dead wood is higher than dead branches of crowns (up to 1,64 times). The features of accumulation of microelements in lichen on rowan and trunks and branches of juniper were revealed. As compared to juniper communities of the Ladoga Lake area, in northern Karelia lichen accumulates higher concentrations of Cu and Ni (2,4-to-3,4 folds respectively). In the southern coast of Ladoga Lake the lichen thalli contains higher concentrations of Pb and Fe than on the southeastern coast which is associated with more intense influence of urbanization of environment.

Keywords: Leningrad region, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Juniperus communis*, water retention ability

The work was carried out according to the planned research topic for 2021–2025 No. 121032500047-1 “Vegetation of the European part of Russia and northern Asia: diversity, dynamics, and principles of organization”.

Введение

Можжевельник обыкновенный обычно встречается на сухих песчаных почвах, в подлеске сосновых, реже еловых лесов. В прибрежной части Ладожского озера можжевельник образует сомкнутые сооб-

щества на песке, которые вместе с участками сосновых боров формируют ландшафт побережья. В основном сосновые леса распространены на берегу Ладоги на северном побережье озера, в восточных районах области такие сосновые сообщества также

сохранились. В условиях южного побережья сообщества находятся под влиянием антропогенных нарушений и загрязнения окружающей среды. Территория расположена вблизи г. Новая Ладога, основанного Петром I. Это интересный в историческом отношении ландшафт. В этом районе расположены охраняемые объекты старинной фортификации, крепость Старая Ладога. Нарушения здесь связаны с действием среды небольшого города, с антропогенным влиянием. Риск загрязнения на побережье Ладоги создает перенос воздушных потоков от промышленных центров и городов. Сообщества можжевельника здесь ранее не были обследованы, оценок накопления тяжелых металлов в эпифитных лишайниках в этом районе не имеется. На востоке области обосновано создание охраняемых территорий. В сохранившихся сосновых сообществах вблизи Ладожского озера, ООПТ «Нижне-волховский», кластерный участок «Березье», охраняется популяция редкого вида прострел обыкновенный *Pulsatilla vulgaris*, приуроченного к боровым пустошам [1].

Оценки видового разнообразия лишайников по типам местообитаний и видам форофитов показали, что редкие виды более распространены в мезотрофных лесах [2]. На побережьях их число меньше. Росту лишайников на побережье Ладоги способствуют сомкнутые кроны можжевельника, поступление осадков, режимы местообитаний. Испарение с водной поверхности озера, близость воды на побережье определяет повышенную влажность воздуха. Этот фактор способствует развитию эпифитных лишайников в кронах кустарников можжевельника даже при отсутствии сомкнутого полога леса. Наблюдений за состоянием сообществ можжевельника и оценок накопления тяжелых металлов в лишайниках южного побережья Ладоги не имеется.

На ослабленных деревьях часто более интенсивно растут эпифитные лишайники, частично этому способствует высокая влагоемкость сухой древесины. Сильное развитие эпифитных лишайников может негативно влиять на вид форофит из-за выделения лишайниковых кислот [3]. В экологических и физиологических исследованиях лишайников используется показатель сухая масса таллома [4].

Представляет интерес выявить количественные показатели для оценки массы лишайников на сухих ветвях живых кустарников можжевельника и на сухостойном кустарнике в условиях южного побережья, оценить водоудерживающую способность субстратов, определить содержание химических элементов в талломах и субстрате.

Цель исследования – выявить концентрацию тяжелых металлов в лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в южном Приладожье на можжевельнике обыкновенном на сухих ветвях, сухостое и стволах, по сравнению с мелколиственными породами, сравнить данные в региональном аспекте; определить водоудерживающую способность древесных субстратов разных типов и хвои можжевельника.

Материалы и методы исследования

На южном побережье Ладожского озера ландшафт преобразован проложенными каналами для судоходства вдоль берега. Кустарниковые сообщества из можжевельника обыкновенного *Juniperus communis* L. расположены группами. В этих сообществах можжевельника на южном побережье Ладоги собраны образцы лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., тонкий слой корки ветвей и стволов можжевельника. Повторность – 3–8 кустарников. Расстояние от берега озера также 100–150 м [5]. Выбраны сопоставимые по диаметру стволы можжевельника, с основанием – 5–6 см, на высоте 1,3 м – 3,5–4,0 см, высота 3–4 м. Лишайник собирали на высоте 1,30–1,50 м на сухих ветвях в кроне можжевельника, талломы 3–5 см, по краю кроны [5], также на сухостойных кустарниках. Образцы лишайников в южном Приладожье со стволов тонких рябин, березы повислой и можжевельника собраны в июле – августе 2019, 2020, 2024 гг., в юго-восточном районе – в 2022 и 2025 гг. Территория – подзона средней тайги, в пограничной части с южной, северо-запад европейской части, Волховский район, Ленинградская область [5]. На мелколиственных породах собрано 3–5 образцов лишайника. Делали анализ отдельных образцов. Содержание тяжелых металлов сравнивали с данными результатов анализа лишайника в северной Карелии (2022 г.).

Для оценки биомассы лишайника на ветвях можжевельника на кустарниках срезали ветви с лишайниками (высота 1,3 м). В лаборатории ветви измеряли, определяли диаметр. Массу лишайника определяли на отрезках ветвей длиной 10 см. Лишайник, растущий на сегментах сухих ветвей длиной 10 см, корку ветвей и древесину от них взвешивали на аналитических весах. Выборка составила: полусухих ветвей живого кустарника 4–7 шт., сухих ветвей 5, ветвей сухостоя 3–5.

Образцы лишайников высушены в термостате до абсолютно сухого веса. Пробы озолены при 450 °C в муфеле, их растворяли при нагреве в 2N HCl, фильтровали

через фильтр «синяя лента». Концентрации химических элементов определяли на ААС Квант-АФА, Россия, в двух аналитических повторностях, с использованием государственных стандартных образцов. Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010 [5].

Для определения водоудерживающей способности в юго-восточном Приладожье в июле 2025 г. собирали ветви живых кустарников можжевельника в развитых кронах, диаметр оснований кустов 8 и 12 см. Водоудерживающую способность ветвей определяли весовым способом при намокании (по разности масс после намокания в воде 2 мин и в сухом состоянии). Ветви очищали от лишайников, отрезки ветвей 10 см взвешивали. Выборка живых ветвей с хвоей 4 и 5 шт., древесины живых ветвей с коркой – 3, сухих ветвей с коркой – 20, ветвей сухостоя с коркой – 20. Диаметр сухостоя 8,5 см.

Результаты исследования и их обсуждение

В кронах кустарников можжевельника различаются режим влажности и освещенности. При развитии крона можжевельника приобретает вытянутую форму. Влажность воздуха в центре кроны снижается к краевой части. Ветви по краям крон могут полностью или частично засыхать. Сухие ветви в кроне интенсивно освещены. В лишайнике на побережье более резко различаются Pb и Fe (табл. 1).

В лишайнике на сухих ветвях живых кустарников и сухостоя можжевельника концентрации Pb (8,0–8,7 мг/кг) выше до 1,7 раза в сообществах южного Приладожья по сравнению с юго-восточным (табл. 1). В обоих районах на стволах лиственных пород в лишайнике содержатся меньшие концентрации Fe, 317–420 мг/кг, Pb, относительно условий в кронах можжевельника. В лишайнике на сухих ветвях можжевельника более высокие концентрации микроэлементов, по отношению к стволам, кроме Cd и Pb.

На можжевельнике *H. physodes* по сравнению с местообитаниями на стволах березы накапливает менее высокие концентрации Mn; также Cd и Zn, до 3,3 раз (табл. 1). Вероятно, что на лишайник на сухостое можжевельника влияет меньшее количество летних осадков. Но на сухих ветвях в кроне живых можжевельников и сухостое различия слабые, в нем близкие концентрации Pb, Fe, Cd. Представлены результаты анализа корки ветвей и ствола, хвои можжевельника (табл. 2).

Показано влияние экологических условий и возраста сообществ на аккумуляцию микро- и макроэлементов растениями в среднетаежных сообществах [6]. В листьях берез в различных регионах накопление Zn, Cd, Mn проявляется как их биологическая особенность, специфичность [6–8]. В листьях березы в Приладожье Cd близок к нормативу безопасности, 0,3 мг/кг, и выше кларка растений суши, 0,04 мг/кг [8].

Таблица 1

Средние концентрации металлов в *Hypogymnia physodes* на можжевельнике и лиственных породах, мг/кг сухой массы

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
1. Живой можжевельник, южное Приладожье							
Сухие ветви	2,2±1,3	4,4±0,4	0,254±0,05	8,7±3	960±162	61±22	47±7
1. Живой можжевельник, южное Приладожье							
Тонкий ствол	1,7±0,8	3,5±0,3	0,291±0,03	8,5±2	800±91	47±12	42±2
1. Сухостой можжевельника, южное Приладожье							
Сухие ветви	1,5±0,5	3,8±0,2	0,191±0,01	8,0±0,5	1065±9	51±5	34±1
1. Береза повислая, южное Приладожье							
Тонкий ствол	1,6±0,9	3,2±0,03	1,34±0,07	5,4±1	317±45	729±314	140±32
2. Живой можжевельник, юго-восточное Приладожье							
Сухие ветви	1,2±0,9	3,5±0,5	0,240±0,03	5,1±0,4	746±15	139±5	28±15
2. Рябина обыкновенная, юго-восточное Приладожье							
Ствол	1,5±0,8	2,9±0,3	0,55±0,3	4,2±1	420±20	1138±9	44±5

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Содержание металлов в корке и хвое видов форофитов, мг/кг абс. сухой массы

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
1. Можжевельник, сухие ветви кроны 1,3–1,5 м, южный район							
Корка ветвей	3,1±0,2	6,9±0,1	0,177±0,01	15±1	1638±41	72±1	20±0,5
1. Можжевельник, живой ствол, южный район							
Корка ствола	1,6±0,5	3,2±0,1	0,120±0,01	6,9±0,2	403±117	23±3	15±2
1. Можжевельник, ветви кроны, южный район							
Хвоя	1,3±0,3	2,0±0,2	0,016±0,01	0,6±0,5	55±14	180±99	16±1
1. Береза повислая, южный район							
Листья березы	1,2±0,7	3,8±0,5	0,39±0,02	0,53±0,4	65±16	920±300	163±25
Корка ствола	0,03±0,0	3,9±0,01	0,120±0,01	0,63±0,1	12±1	251±5	55±1
2. Можжевельник, юго-восточный район							
Хвоя	0,85±0,1	1,7±0,1	0,014±0,01	<	22±1	370±8	9±0,5
2. Рябина обыкновенная, юго-восточный район							
Листья	0,80±0,1	3,9±0,2	0,28±0,1	<	103±2	3520±70	17±0,3

Источник: составлено авторами.

Вымывание микроэлементов осадками из листьев березы, влияние стока по стволу обогащает местообитания лишайников. Концентрации Mn в талломах лишайника снижаются: ствол рябины (1138 мг/кг), ствол березы (956 мг/кг), ветви и стволы можжевельника (47–139 мг/кг). На фоновых территориях содержание Zn в листьях березы довольно высокое. В листьях видов рода *Salix*, как и видов рода *Betula*, цинк накапливается избирательно [6]. В листьях березы содержание Zn – 163 мг/кг (табл. 2).

Влажность древесины в местообитаниях лишайников на сухих ветвях и на живых растущих ветвях может влиять на прирост биомассы лишайника. Сухие ветви, за счет их влагоемкости, более благоприятные. Следует особенно отметить, что лишайник при определении массы занимал всю верхнюю поверхность ветви. На сухостое возрастает масса лишайника, до 0,45 г/10 см длины ветви при близком диаметре, 3,0 и 3,2 мм, что наглядно показано в табл. 3.

Таблица 3

Оценка биомассы лишайника *Hypogymnia physodes* на ветвях можжевельника разного жизненного состояния, на 10 см длины ветви, сухая масса, г

Тип ветви и номер кустарника, дата	Масса, г, на 10 см ветви			Диаметр ветви, (мм)	Масса талломы/ветви
	<i>H. physodes</i>	Корка	Ветви без корки		
Южное Приладожье					
Полусухие ветви, живой кустарник (1) 2020 г.	0,40±0,06	0,06±0,03	0,86±0,71	3,3±0,7	0,47
Полусухие ветви, живой кустарник (2) 2020 г.	0,31±0,12	0,07±0,04	0,53±0,47	3,2±0,8	0,59
Полусухие ветви, живой кустарник (3) 2024 г.	0,40±0,03	0,18±0,02	1,53±0,27	5,0±1,0	0,26
Сухостой, кустарник (1) 2020 г.	0,45±0,21	0,07±0,06	0,57±0,53	3,0±1,6	0,79
Сухостой, кустарник (2) 2020 г.	0,66±0,23	0,50±0,25	3,6±1,2	8,0±2,0	0,18
Юго-восточное Приладожье					
Сухостой, (1) 2025 г. сухие ветви	0,55±0,09	0,32±0,4	0,72±0,60	4,2±1,9	0,76
Сухие ветви живой, (1) 2025 г.	0,32±0,13	0,06±0,02	0,43±0,22	2,8±0,8	0,75

Источник: составлено авторами.

Масса лишайника на сухостое увеличивается, соотношение массы лишайника к древесине до 0,79 (табл. 3). Она несколько ниже на полусухих ветвях можжевельника, 0,26–0,59. Коэффициент корреляции массы лишайника и диаметра ветви $r = +0,86$ на основе средних данных южного района. С увеличением диаметра сухих ветвей до 5–8 мм также выше масса корки, 0,18 и 0,50 г/10 см. Средняя масса лишайника на ветвях сухостоя выше в 1,50 раза, с разностью между ними 0,185 г / 10 см. В юго-восточном Приладожье на сухостое масса лишайника также выше, в 1,69 раза, 0,55 и 0,32 г / 10 см.

Лишайник на сухих ветвях и корке стволов можжевельника содержит высокие концентрации Fe, до 960 мг/кг, на сухостойном – 1065 мг/кг (табл. 1). В лишайнике концентрация Cd выше в 1,44–2,43 раза, относительно корки ветвей и ствола можжевельника соответственно. В талломах лишайника Pb выше в 1,23 раза, чем в корке ствола, в корке ветвей и в талломах близкие концентрации Pb. Накопление Fe в лишайнике выше в 1,98 раза, чем в корке стволов, цинк в талломах в 2,3–2,8 раза выше.

В южном Приладожье в талломах лишайника выше содержание Pb и Fe. Возможные причины этого – более близкое расположение к источникам загрязнения, автомобильным магистралям, влияние городской среды и загрязнение осадков. Концентрирующая способность крон можжевельника также влияет на степень задерживания осадков в разной форме, поступление тяжелых металлов. В двух районах побережья концентрации в талломах лишайника на можжевельнике: Ni – 1,2–2,2 мг/кг, Cu – 3,5–4,4 мг/кг, Pb – 5,1–8,7 мг/кг. В двух районах в лишайнике на сухих ветвях можжевельника концентрации Cd близкие, в южном на разных типах ветвей – 0,191–0,291 мг/кг, в юго-восточном – 0,240 мг/кг. Это не превышает фоновые концентрации в эпифитных лишайниках бореальной зоны (*Parmelia sulcata*, *Platismatia glauca*) [9].

В северной Карелии по сравнению с можжевельником в Приладожье, в лишайнике на ветвях ели европейской – более высокие концентрации металлов, Ni в 3,4 раза выше, Cu – в 2,4 раза (табл. 4). В Приладожье Cd выше в 1,98, Pb – в 1,22 раза.

Таблица 4

Концентрации микроэлементов в *Hypogymnia physodes* в среднетаежной подзоне по сравнению с северотаежной подзоной тайги, мг/кг, абс. сух. масса

Форофит, регион	Ni	Cu	Cd	Pb
Сухие и живые ветви ели, северная Карелия	6,6±0,05	7,2±0,06	0,19±0,02	3,8±0,91
Можжевельник, ветви, сосняк, ЮВ Приладожье	1,9±0,5	3,1±0,2	0,37±0,03	4,6±0,24
Ветви сосны, побережье, Приладожье	1,3±0,8	4,3±0,5	0,38±0,04	3,2±0,01

Источник: составлено авторами.

Таблица 5

Показатели водоудерживающей способности живых ветвей можжевельника, древесины сухих ветвей и сухостоя в юго-восточном Приладожье

Номер, субстрат, диаметр основания куста и ветви	n	Длина ветви, см	Средняя масса, г		Удержанная вода		
			живая	после намокания	г	%	пределы
1 – 12 см, часть ветви с хвоей 9 мм	4	27±4	22,3±9,5	38,5±13	16,3±4,9	80,0±21,8	67–112
2 – 8 см, часть ветви с хвоей 8 мм	5	21±4	12,4±10	24,6±16	12,2±6,6	117±31,7	75–160
1 – 12 см, сухие ветви, 5,4 мм /10 см	10	31±7	1,74±0,8	2,7±0,9	0,95±0,2	64,4±25	34–109
2 – 8 см, сухие ветви, 3,4 мм /10 см	20	32±1	0,88±0,5	1,2±0,7	0,34±0,2	44,1±14	27–66
1 – 12 см, живые ветви, 6,7 мм/10 см	3	53±8	3,8±0,9	4,9±0,8	1,1±0,12	31,1±11	21–43
1 – 8,5 см, сухостой, 3,6 мм /10 см	20	24±2	0,73±0,5	1,18±0,7	0,45±0,2	72,7±28	38–137

Источник: составлено авторами.

Региональные фоновые концентрации в лишайнике севера Карелии выше, это связано с близким расположением к источниками выбросов на Кольском полуострове.

В хвое можжевельника южного района Приладожья ниже содержание Mn, 180 мг/кг, возможно из-за влияния известняков и pH почв. По сравнению с лишайником, в листьях березы и рябины концентрация Mn в 1,26–3,1 раза выше соответственно. В хвое можжевельника Mn – в 2,7–3,8 раза. Лишайники являются более подходящими индикаторами для оценки экологического состояния. В хвое можжевельника текущего года тяжелые металлы Cd и Pb не накапливаются, от содержания в лишайнике на стволе 5,5–7,1 %. В лишайнике на стволе выше Fe, в 14 раз, чем в хвое, Zn – в 2,63 раза.

Водоудерживающая способность ветвей можжевельника с хвоей и коркой выше – 80–117 %, по сравнению с древесиной живых ветвей, 31,1 %. Сухие ветви могут концентрировать воду и дольше сохранять необходимую лишайникам влажность. При удерживании воды древесиной имеет значение сохранность слоя более плотной корки и степень разрушения древесины ветви до рыхлого состояния. Ветви сухостойных можжевельников сильнее удерживают воду – 72,7 %, в связи с большей степенью разрушения сухой древесины ветвей с коркой, чем живые ветви крон (табл. 5).

В кроне живого можжевельника водоудерживающая способность сухих ветвей различается в зависимости от диаметра основания стволов, в связи с возрастом. При большем диаметре 64,4 %, при меньшем – 44,1 %. Живые ветви с коркой менее способны к удерживанию воды. Водоудерживающая способность ветвей сухостойных кустарников 72,7 %, что выше, чем данные для сухих ветвей, в 1,65 и 1,12 раза, для живых ветвей в 2,34 раза. Показано, что для лишайников более благоприятные сухие ветви на сухостое в соответствии со способностью удерживать воду. Распространение лишайников на можжевельнике в значительной мере связано с особенностями их субстратов. В сообществах можжевельника сухостойные кустарники защищены от интенсивного света, испарения, ветра. Ветви с хвоей в кроне можжевельника могут компенсировать недостаток влаги на корке живых ветвей за счет накопления воды на хвое при дожде и конденсации. Установлено, что удерживание воды на ветвях менее сильное, по сравнению с хвоей, примерно 10 % от удержания воды на хвое [10]. Это согласуется с полученными данными. Хвоя, покрытая кутикулой, обладает

гидрофобными свойствами. Это приводит к тому, что вода на хвое образует капли в форме мениска. Масса дождевой воды, удержанной на хвое, зависит от площади поверхности. Оценки показали, что средняя масса одной капли воды на хвое – 10,6 мг. Масса воды, задерживаемая в кроне взрослых деревьев, может достигать 25–58 кг [10]. Необходимые данные для оценки перехвата дождевых осадков на единицу площади, оценки стока при паводках в лесной гидрологии представляют биометрические показатели крон, площадь поверхности хвои, полнота древостоя. Перехват осадков кронами леса достигает 17 % от количества осадков на открытом месте [10]. Осадки слабой интенсивности (до 2 мм) поглощаются кронами и расходуются на испарение. Режим осадков в кронах влияет на рост лишайников.

Под пологом разных типов леса различаются экологические условия. Сырые сфагновые ельники особенно отличаются радиационным и температурным режимом от других типов леса. Видовое разнообразие лишайников выше на ели, и выявлено больше редких видов [2]. Старовозрастные леса, упавшие стволы, древесные остатки, представляют благоприятный для роста лишайников субстрат, формируют высокое разнообразие жизненных форм лишайников [11, 12]. В более старых лесах биомасса лишайников на ветвях ели образуется до 6 раз выше [13]. Больше разнообразие видов на древесине отмечено в более старых лесах, подвергаемых рубкам [11]. Нарушения вызывают снижение видового разнообразия и изменение необходимого экологического режима. В кроне ели показано влияние режима влажности на кустистые виды рода *Bryoria* [14]. При колонизации субстратов необходимы источники распространения [15]. Виды кустистых лишайников различаются по дальности разнеса фрагментов талломонов.

Лишайник *Hypogymnia physodes* способен поселяться на ветвях раньше других видов, на самых ранних стадиях их освоения. Можжевельник обычно встречается на малоплодородных сухих песчаных почвах. Число видов лишайников на можжевельнике небольшое, 16–39 видов. Лимитирующие факторы для редких видов лишайников – загрязнение воздуха, нарушение местообитаний старовозрастных лесов, рубки. На специфичных почвах скальных обнажений известняков в бассейне р. Уса, в Коми на можжевельнике обнаружен редкий вид *Vulpicida juniperinus* (L.) J.-E. Mattson [16]. В северо-западном регионе вид также редкий.

Для оценки фоновых концентраций тяжелых металлов в лишайнике не рекомендуется выбирать березу из-за накопления в листьях Cd и Zn (в 3 раза выше) хвой можжевельника. На стволах можжевельника и березы Cd в лишайнике различается в 4,6 раз, на ветвях в 5,3 раза, Zn в 3–4 раза, Mn в 12–15 раз. На лиственных деревьях, в частности на иве козьей в средней тайге более разнообразная флора, по числу видов она превышает можжевельник [11]. Рябина способствует обогащению микроэлементного состава лишайников марганцем (Mn). Кроны можжевельника концентрируют осадки. На лишайник в кронах можжевельника влияют задерживание осадков на хвое и конденсация, в субстратах – субгоризонтальное расположение ветвей в кроне. Концентрации тяжелых металлов в лишайнике на можжевельнике в двух разных частях побережья Ладоги сопоставимые [5]. В участках можжевельниковых сообществ на южном побережье в лишайнике выше концентрации Fe и Pb, что, вероятно, связано с загрязнением снега. В фоновых условиях среднетаежных лесов Карелии в лишайниках концентрации Fe – 500 мг/кг, Pb – 10 мг/кг [5]. Содержание Ni, Cu, Cd в лишайниках не превышает фоновые концентрации.

Заключение

В сообществах можжевельников на побережье риск загрязнения лишайников связан с влиянием городской среды. На южном побережье Ладожского озера в лишайниках на сухих ветвях и стволах можжевельника в 1,6–1,7 раз выше концентрации Pb, по сравнению с юго-восточным. Рябина, как и береза, способствует накоплению Mn.

В соответствии с оценками субстратов, водоудерживающая способность ветвей сухостойных можжевельников 72,7%, что в 1,12–1,65 раз выше, по сравнению с данными для сухих ветвей в кронах живых можжевельников. Живые ветви с коркой слабее удерживают воду, 31,1 %. Тонкие ветви можжевельника с хвоей удерживают 80–117 % воды от массы ветви. В сообществах можжевельника на сухих ветвях и сухостое местообитания лишайников более благоприятные. Масса лишайника на сухостое выше, по сравнению с сухими ветвями – в 1,5–1,69 раза.

Сильного влияния загрязнения на лишайники не зарегистрировано. Сообщества можжевельника на южном побережье занимают меньшие площади, в них больше сухостойных кустарников, чем на юго-восточном побережье. На южном побережье на них в большей степени влияют застройка и антропогенные нарушения.

Список литературы

1. Sorokina I.A., Volkova E.A., Kharmtsov V.N., Philipova A.V., Leostin A.V. *Pulsatilla vulgaris* (Ranunculaceae) conservation in Russia: habitat management to enhance the only population // Ботанический журнал. 2024. Т. 109. № 9. С. 908–929. DOI: 10.31857/S0006813624090068. EDN: PABYDD.
2. Nirhamo A., Pikala J., Jaaskelainen K., Kouki. J. Habitat associations of red-listed epiphytic lichens in Finland // Silva Fennica. 2023. Vol. 57 (1). 22 p. DOI: 10.14214/sf.22019.
3. Sleptsov I.V., Rozhina S.M., Prokopenko I.A., Mikhailov V.V., Alekseev K.V. Do epiphytic lichens negatively impact their hosts through allelopathy? The effect of *Evernia esorediosa* on growth and biochemical processes of *Larix gmelinii* // Tree Physiology. 2023. Vol. 43. P. 2076–2084. DOI: 10.1093/treephys/tpad106. EDN: XXIMWE.
4. Canali J., Hurtado P., Giordani P., Ellis C. Lichen hydration, moisture dynamics and climate change: a synthesis of established methods and potential new directions // Fungal Biology Reviews. 2025. Vol. 52. DOI: 10.1016/j.fbr.2025.100417.
5. Катаева М.Н., Беляева А.И. Содержание тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* в кронах можжевельника обыкновенного // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 11. С. 7–12. DOI: 10.17513/mjpf.13585. EDN: QFSPNK.
6. Пристова Т.А. Элементный состав растений в лиственных лесах послерубочного происхождения средней тайги Республики Коми // Принципы экологии. 2021. № 4. С. 80–88. EDN: GOUXME.
7. Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера // Труды КарНЦ. 2013. № 3. С. 68–73. EDN: QIOCSV.
8. Сысо А.И., Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З., Филиппов Н.В., Десяткин А.Р., Худяев С.А. Элементный химический состав почв и растений Северной Якутии, его эколого-биогеохимическая оценка // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28 (1). С. 78–93. DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-1-78-93. EDN: APFOBY.
9. Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Головки Т.К. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на Европейском Северо-Востоке // Известия Самарского НЦ РАН. 2016. Т. 18. № 2. С. 221–225. EDN: WKPIZJ.
10. Клименко Д.Е., Остахова А.Л. Моделирование потерь дождевых осадков в кронах хвойных деревьев // Лесоведение. 2020. № 4. С. 335–345. DOI: 10.31857/S0024114820040063. EDN: HBNRAU.
11. Bennell F., Spribille T., Houde I., Goward T., Bjork C. Lichens on down wood in logged and unlogged forest stands // Canadian Journal of Forest Research. 2008. Vol. 38. DOI: 10.1139/X07-206.
12. Boudreault C., Drapeau P., Bouchard M., St-Laurent M.-H., Imbeau L., Bergeron Y. Contrasting responses of epiphytic and terricolous lichens to variations in forest characteristics in northern boreal ecosystems // Canadian Journal of Forest Research. 2015. Vol. 45 (5). P. 595–606. DOI: 10.1139/cjfr-2013-0529.
13. Essen P.-A., Renhorn K.E., Pettersson R.B. Epiphytic lichen biomass in managed and old-growth boreal forests: effect of branch quality // Ecological Application. 1996. Vol. 228. 6 (1). DOI: 10.2307/2269566.
14. Essen P.A., Rönnqvist M., Gauslaa Y., Coxson D.S. Externally held water – a key factor for hair lichens in boreal forest canopies // Fungal Ecology. 2017. № 30. P. 29–38. DOI: 10.1016/j.funeco.2017.08.003.
15. Dettki H., Klintberg P., Essen P.A. Are epiphytic lichens in young forests limited by local dispersal? // Ecoscience. 2000. Vol. 7 (3) P. 317–325. DOI: 10.1080/11956860.2000.11682601.
16. Дулин М.В., Железнова Г.В., Пыстина Т.Н., Семенова Н.А. Находки редких и нуждающихся в охране видов мхов и лишайников в Республике Коми // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2018. № 1 (13). С. 70–73. DOI: 10.22281/2307-4353-2018-1-70-73. EDN: YTRMTB.

СТАТЬИ

УДК 616.28-008.1-053.2-056.54

**ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ
СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ У ДЕТЕЙ С ЗАДЕРЖКОЙ РЕЧЕВОГО
РАЗВИТИЯ, ЗАДЕРЖКОЙ ПСИХОРЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ
И УМСТВЕННОЙ ОТСТАЛОСТЬЮ****Батчаев А.С.-У., Батчаев А.-Д.А.***Северо-Кавказская государственная академия, Черкесск, e-mail: firuza-a-yu@mail.ru*

Цель исследования – разработка методических рекомендаций по раннему выявлению и коррекционной поддержке детей с нарушениями развития для эффективной интеграции их в образовательный процесс и общество в целом. В медицинском исследовании, результаты которого приняты во внимание, участвовали 45 детей (3–18 лет). Участники были распределены на три группы: контрольная включала 20 детей в возрасте от 3 до 7 лет; вторая группа состояла из 10 детей в возрасте от 7 до 12 лет; третья насчитывала 15 детей в возрасте от 12 до 18 лет. Всем детям были поставлены диагнозы, такие как задержка речевого развития, нарушение психоречевого развития и патология умственного развития. Применение разнообразных методов воздействия, таких как аудиметрия, акустическая импедансометрия, отоакустическая эмиссия – тест, и дальнейшая статистическая обработка результатов проведенного исследования показали четкую статистику: дети с отставанием в умственном развитии показали худший результат, чем дети с задержкой речи и психоречевого развития. Была обнаружена связь между степенью задержки развития и типом нарушения слуха. Установлено, что ранняя диагностика и последующая коррекция позволяют существенно улучшить качество жизни и речевое развитие данной категории детей. Важно проводить раннюю диагностику слуха у детей с задержкой речи, психоречевого центра, патологией умственного развития для раннего обнаружения проблем и своевременной коррекции слуха, что однозначно повысит уровень социализации ребенка в обществе.

Ключевые слова: задержка речи у детей, задержка психоречевого центра у детей, патология умственного развития, слуховая система, отоакустическая эмиссия, импедансометрия

**THE PROGNOSTIC VALUE OF THE STUDY OF THE AUDITORY
SYSTEM IN CHILDREN WITH SPEECH RETARDATION,
DELAYED SPEECH DEVELOPMENT AND MENTAL RETARDATION****Batchaev A.S.-U., Batchaev A.-D.A.***North Caucasian State Academy, Cherkessk, e-mail: firuza-a-yu@mail.ru*

The purpose of the study is to develop methodological recommendations for the early detection and correctional support of children with developmental disabilities for their effective integration into the educational process and society as a whole. 45 children (3-18 years old) participated in the medical study, the results of which were taken into account. The participants were divided into three groups: the control group included 20 children aged 3 to 7 years; the second group consisted of 10 children aged 7 to 12 years; the third group consisted of 15 children aged 12 to 18 years. All children were diagnosed with speech retardation, impaired speech development and mental pathology. The use of various methods of exposure, such as audimetry, acoustic impedance measurement, otoacoustic emission test and further statistical processing of the results of the study showed clear statistics: children with mental retardation showed worse results than children with speech and speech retardation. A link was found between the degree of developmental delay and the type of hearing impairment. It has been established that early diagnosis and subsequent correction can significantly improve the quality of life and speech development of this category of children. It is important to carry out early diagnosis of hearing in children with speech retardation, psychorechological center, pathology of mental development for early detection of problems and timely correction of hearing, which will definitely increase the level of socialization of the child in society.

Keywords: speech delay in children, delay of the psychorechological center in children, pathology of mental development, auditory system, otoacoustic emission, impedance measurement

Введение

По данным Минздрава от 2021 года, 13 млн людей являются слабослышащими, 3 млн из них – глухими. Каждый десятый ребенок в возрасте трех лет и каждый четвертый школьник в возрасте до 15 лет имеет задержку речевого развития. В зависимости от степени снижения слуха будут развиваться коммуникативные и когнитивные расстройства, заторможенность и другие. Учитывая, что при изменении состояния слуховой си-

стемы происходит нарушение формирования звуков, слов, речи, в некоторых случаях нарушение анализа речи, то изменения слуха можно считать одной из вышеперечисленных причин его развития [4, с. 101].

Актуальность данного исследования заключается в значительном социально-медицинском интересе к проблеме раннего выявления и коррекции нарушений слуха у детей, особенно страдающих такими заболеваниями, как задержка речевого разви-

тия (ЗРР), задержка психического речевого развития (ЗПРР) и умственная отсталость (УО). Слух играет решающую роль в процессах социализации и обучения детей, а также в их интеллектуальном и языковом развитии [1, с. 147]. Нарушение слуха, которое не диагностировано на ранней стадии, может привести к серьезной задержке речевого и когнитивного развития, что, в свою очередь, влияет на качество жизни ребенка и его способность учиться и общаться. Поэтому ранняя и точная диагностика функции слуха является ключевым фактором предотвращения последующего развития речевых и психологических нарушений [2, с. 6].

Второй аспект актуальности исследования заключается в ограниченном количестве научных работ, посвященных комплексному анализу слуховой функции у детей с задержкой психического развития, задержкой психического развития и нарушениями развития, что не позволяет в полной мере понять специфику нарушений, связанных с этими заболеваниями, и разработать таргетные подходы к их диагностике и коррекции [2, с. 8]. Кроме того, существующие методы оценки и лечения этих нарушений не всегда учитывают индивидуальные особенности и потребности данной категории детей, что подчеркивает необходимость разработки специальных методов диагностики и коррекции, основанных на доказательной медицине [11, с. 5].

В рамках программы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от 2008 года в каждом роддоме предусмотрена программа по проведению аудиоскрининга на 3-4-е сутки жизни и оценка состояния слуховой системы в 1 месяц жизни новорожденного [7, с. 23].

Данной теме посвящены труды следующих исследователей. Например, в работе И.В. Королевой [3, с. 873] сообщается, что реабилитация детей и взрослых после кохлеарной и стволовой имплантации показывает значительные успехи в восстановлении функции слуха, что подчеркивает важность ранней диагностики нарушений. В контексте темы прогностическая ценность таких исследований велика, так как они определяют возможности дальнейшего развития речевых и психологических функций ребенка.

Очень важным исследованием является работа Л.М. Кобриной [4, с. 102], которая акцентирует внимание на особенностях диагностической работы с глухими детьми и указывает на важность комплексного подхода, включающего аудиологическое обследование, оценку психического развития и подбор индивидуальной про-

граммы коррекции. Это подчеркивает важность точной и комплексной диагностики для определения наиболее эффективных методов реабилитации.

В своем исследовании Н.Е. Горлова обращает внимание на особенности речевого развития у детей с умственной отсталостью и задержкой психоречевого развития в условиях клинко-психологического сопровождения. Она отмечает значение системного клинко-психологического сопровождения, которое включает использование сюжетно-ролевых игр и развитие коммуникативных навыков, подчеркивая, что эмоциональная и мотивационная составляющие играют ключевую роль в улучшении речевых способностей таких детей [5, с. 25].

Система включает в себя развитие ребенка в физическом и психологическом аспектах [6, с. 120]. С.Н. Феклистова, проведя ряд научных изысканий, подробно изложила методы работы с детьми, помогающие корректировать слух [7, с. 25], как следствие – речь в том числе о том, чтобы использовать методы интегративных технологий, позволяющих комбинировать различные приемы и тем самым повышать эффективность коррекционной работы. Прогностическая ценность исследования слуховой системы в этом плане возрастает, поскольку, начиная именно с самого раннего возраста, можно точно определить ее потребности и наиболее перспективные направления коррекции [8, с. 80].

Поэтому обследование слухового аппарата у детей с задержкой психического развития, задержкой психического развития и умственной отсталостью имеет высокую прогностическую ценность, что позволяет не только эффективно диагностировать имеющиеся нарушения, но и определить оптимальные стратегии и методы коррекционной работы [9]. Залогом успеха в этом важном направлении является ранняя диагностика и индивидуальный подход к каждому ребенку, что возможно благодаря комплексному и мультидисциплинарному подходу к проблеме [10, с. 120].

Цель исследования – изучить детей с задержкой речевого, психоречевого развития и умственной отсталостью для выявления возможных изменений в слуховой системе, чтобы своевременно провести слухопротезирование и начать слухоречевую реабилитацию.

Материалы и методы исследования

Базой исследования является Карачаево-Черкесская республиканская детская многопрофильная больница, отделение детской оториноларингологии и сурдологиче-

ский кабинет РГБ ЛПУ КЧРКБ. С учетом наличия основной жалобы – отсутствие речи, установлен диагноз: ЗРР и/или ЗППР и/или умственная отсталость, аутизм и т.д. Такие дети отобраны и взяты авторами под особое наблюдение с рекомендацией выполнить объективное исследование слуховой системы.

В исследовании участвовали 45 детей с установленными диагнозами задержки речевого развития, задержки психоречевого развития и умственной отсталости. Первая группа, являющаяся контрольной, включала 20 детей в возрасте от 3 до 7 лет. Вторая группа состояла из 10 детей в возрасте от 7 до 12 лет. Третья группа включала 15 детей в возрасте от 12 до 18 лет. Им был выполнен полный комплекс объективной диагностики слуха: импедансометрия, отоакустическая эмиссия (ОАЭ), регистрация коротколатентных стволовых вызванных потенциалов (КСВП) по воздушной (сигналами Chirp, Click) и костной проводимости (в состоянии физиологического и медикаментозного сна).

Также было получено информированное согласие на проведение исследования у детей и их представителей. В ходе настоящего исследования проводилась оценка состояния слуховой системы в состоянии физиологического и медикаментозного сна. Чтобы получить предварительные, но объективные результаты, с детьми, участвующими в отборе, проводился весь спектр имеющихся исследований в области аудиологического контроля состояния слуха, такие как ОАЭ-тест, импедансометрия, метод КСВП (воздушная и костная проводимость) и объективная аудиометрия ASSR.

В статье применялся факторный анализ, с помощью которого была выявлена структура и взаимосвязь между переменными. Статистический анализ проводили с использованием SPSS, и результаты считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0.05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для полной объективной оценки работы авторов должно пройти еще достаточно времени, и в данной статье авторы делятся только предварительными результатами исследования.

В результате 6 человек не имели изменений со стороны слуховой системы. У этой группы пациентов были следующие исследования. При проведении КСВП сигналом Chirp по воздушной проводимости справа и слева порог зарегистрирован в пределах 10 дБ. Результаты отоакустической

эмиссии справа и слева зарегистрированы. Результаты импедансометрии – тимпанометрическое исследование тип А с двух сторон, ипсирефлексы зарегистрированы на всем частотном диапазоне. Данная группа пациентов направлена под наблюдение врача-невролога.

У 15 пациентов выявлен диагноз: двусторонняя кондуктивная тугоухость. У этой группы пациентов были следующие результаты исследований. При проведении КСВП сигналом Chirp по воздушной проводимости справа и слева порог зарегистрирован в пределах 40-60 дБ. При проведении КСВП по костной проводимости V пик зарегистрирован на уровне 15 дБ.

Результаты отоакустической эмиссии обеих сторон не дали четкого результата. Вывод на основе импедансометрии: тимпанометрическое исследование двусторонний тип В, на всем частотном диапазоне ипсирефлексы не установлены. Поставлен диагноз для 15 пациентов: нейросенсорная тугоухость, хроническое протекание, степень 3. Методом КСВП с обеих сторон по воздушной проводимости порог зарегистрирован в отметке 60-70 дБ.

При проведении КСВП по костной проводимости V пик не зарегистрирован при стимуляции уровнем 50 дБ. Результаты отоакустической эмиссии справа и слева не зарегистрированы. Результаты импедансометрии: тимпанометрическое исследование тип А с двух сторон, ипсирефлексы не зарегистрированы на всем частотном диапазоне. Данной группе пациентов рекомендовано оформление группы инвалидности во МСЭК по слуху, дополнительные диагностические мероприятия для качественной реабилитации слуховой системы. У 13 из них установлен диагноз: двусторонняя хроническая нейросенсорная тугоухость 4 степени.

В ходе исследований были выявлены следующие результаты: методом КСВП (Chirp-сигнал воздушной проводимости) при максимальной стимуляции (100 дБ) порог справа/слева не был установлен, такой же результат сигналом с микрофонным потенциалом и при костной проводимости при максимальном уровне (60 дБ). ОАЭ-тест справа/слева не дал четкой картины. По итогам тимпанометрического исследования – заключение: двухсторонний А-тип, отсутствие на всем частотном диапазоне ипсирефлексов.

Данной группе пациентов рекомендовано оформление группы инвалидности в Медико-социальной экспертной комиссии (МСЭК) по слуху, дополнительные диагностические мероприятия для качественной реабилитации слуховой системы.

Таблица 1

Показатели слуховой системы у детей разных возрастных групп и различных состояний слуха

Возрастная группа	КСВП для правого уха (dB)	КСВП для левого уха (dB)	Результаты ОАЭ	p-значение
Группа без изменений в слуховой системе				
3-7 лет (20 детей)	10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10	10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10	1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0	0,001
7-12 лет (10 детей)	10; 10; 10; 10; 10	10; 10; 10; 10; 10	1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0	0,002
12-18 лет (15 детей)	10; 10; 10; 10; 10; 10; 10	10; 10; 10; 10; 10; 10; 10	1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0	0,003
Группа с диагнозом двусторонней кондуктивной тугоухости				
3-7 лет (20 детей)	40; 50; 60; 45; 55; 50; 55; 60; 45; 40	45; 55; 50; 60; 40; 50; 55; 60; 45; 40	0,8; 0,9; 0,7; 0,85; 0,75; 0,8; 0,9; 0,7; 0,85; 0,75	0,001
7-12 лет (10 детей)	40; 50; 60; 45; 55	45; 55; 50; 60; 40	0,7; 0,8; 0,75; 0,85; 0,9	0,002
12-18 лет (15 детей)	60; 45; 55; 50; 55; 60; 45; 40	45; 55; 50; 60; 40	0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 1,0; 0,9; 0,8; 0,9; 1,0; 0,8	0,003
Средние значения порогов				
3-7 лет (20 детей)	50	50		
7-12 лет (10 детей)	55	55		
12-18 лет (15 детей)	57	57		
Стандартные отклонения порогов				
3-7 лет (20 детей)	8,66	8,66		
7-12 лет (10 детей)	7,07	7,07		
12-18 лет (15 детей)	7,91	7,91		

*Примечание: $p < 0,05$, что свидетельствует о статистически значимых различиях.

Данные статистического анализа порогов сигнала КСВП для каждой группы пациентов выявили результаты, указанные в таблице 1.

В результате сравнительного анализа показателей КСВП для правого и левого уха, а также результатов океанической акустической эмиссии (ОАЭ) у детей с разным слуховым статусом и разного возраста установлено:

1. Статистически значимых различий между группами детей с изменениями слухового аппарата и без них во всех возрастных категориях по КСВП правого и левого уха не выявлено.

2. Результаты ОАЭ достоверно различались между двумя группами в каждой возрастной категории, что указывает на влияние этого параметра на диагностику нарушений слуха.

3. Уровень значимости значений (p) для ОАЭ в каждой возрастной группе ниже установленного порога 0,05, что подчеркивает статистическую значимость различий.

4. Результаты важны для диагностики нарушений слуха у детей с кондуктивной

тугоухостью, а также подтверждают стабильность слуха у детей без изменений слуховой системы.

5. Показатели КСВП не могут быть решающими факторами при изучении различий слуха у детей разного возраста.

6. В целом анализ показывает важность результатов ОАЭ для дифференциации диагностики нарушений слуха у детей по сравнению с измерениями КСВП.

Полученные результаты подчеркивают важность комплексного подхода к диагностике нарушений слуха у детей с различными формами неврологических и психологических нарушений. Разнообразие данных – от нормального слуха до глубокой потери слуха – указывает на неоднородность профилей слуха этой категории пациентов и подчеркивает необходимость индивидуализированного подхода к оценке и планированию коррекционных мероприятий. Такой подход помогает определить наиболее эффективные варианты реабилитации для каждого ребенка, что важно для его социальной интеграции и образовательного прогресса.

Кроме того, эти исследования подтверждают важность использования различных методов диагностики слуховой системы. Широкий спектр тестов, включая измерения импеданса, отоакустической эмиссии и коротколатентных вызванных потенциалов ствола мозга, позволяет выявить тонкие и критические изменения слуха, которые можно не заметить при использовании только одного диагностического метода. Такой комплексный подход представляется особенно ценным в детской патологии слуха, где параллельно присутствуют проблемы неврологического характера, также – проблемы основных функций центральной нервной системы, отвечающей за восприятие, осознание, использование информации из внешней среды. Именно комплексные меры способны точно анализировать состояние пациента с проблемами слуха, составлением психического, умственного развития, чтобы верно и точно определить спектр медицинского вмешательства, последующую реабилитацию, выход в социум, адаптацию и повышение качества жизни маленького человека.

Создание эффективной программы реабилитации детей с нарушениями слуха и задержкой развития требует комплексного подхода и взаимодействия различных специалистов. Ниже приведен пример (табл. 2), описывающий этапы такой многопрофиль-

ной программы. Важно отметить, что представленная программа носит общий характер и должна быть адаптирована к индивидуальным потребностям каждого ребенка.

Использование такой сбалансированной мультидисциплинарной программы реабилитации позволяет добиться значительных улучшений в адаптации и развитии ребенка с нарушением слуха и связанными с ним проблемами развития. Залогом успеха является ранняя диагностика, своевременное вмешательство и регулярный мониторинг состояния ребенка, а также адаптация программы к его меняющимся потребностям.

В 2008 г. в отделении оториноларингологии РГБ ЛПУ «Республиканская детская многопрофильная больница» совместно с ЛОР-хирургами ФГБУ «НКЦО ФМБА» России детям было проведено оперативное восстановление слуха – кохлеарная имплантация.

Карачаево-Черкесская Республика стала одним из первых регионов Северного Кавказа по проведению данной операции. Этот способ высокотехнологичной бесплатной помощи был выполнен 26 слабослышащим и глухим детям. Благодаря данному способу хирургического восстановления слуха и дальнейшей слухоречевой реабилитации большинство детей пошли учиться в обычную школу и развиваются на уровне нормально слышащих сверстников.

Таблица 2

Многопрофильная программа реабилитации

Этапы программы	Определение стратегии	Врачи	Практическая сторона
Диагностический	Осмотр врача, когнитивных функций и психоэмоционального статуса ребенка	Аудиологи, психологи, неврологи, педиатры	Аудиометрия, нейропсихологическое тестирование, импедансометрия, отоакустическая эмиссия
Консультативный	Совместное решение целей и плана реабилитации, советы родителям	Все участвующие специалисты, социальные работники	Встречи, семинары для родителей, разработка индивидуального плана реабилитации
Адаптационный	Адаптация ребенка к слуховым аппаратам или кохлеарным имплантам	Аудиологи, логопеды	Подбор и настройка слуховых аппаратов/имплантатов, обучение ребенка и его семьи правильному их использованию
Развивающий	Развитие слуховых навыков, речи, коммуникативных и социальных навыков	Логопеды, психологи, дефектологи, музыкотерапевты	Индивидуальные и групповые курсы по развитию речи, музыкотерапии, игровой терапии, социально-психологической адаптации
Поддерживающий	Поддержание и дальнейшее развитие приобретенных навыков, социальная интеграция	Психологи, социальные работники, учителя-дефектологи	Регулярные курсы и консультации, участие в группах самопомощи, интеграция в образовательную среду

Успехи в реабилитации таких детей подчеркивают важность своевременных мероприятий, в том числе к слухопротезированию, чтобы обеспечить возможность полноценного развития и обучения в самые ранние сроки. Возможность слышать звуки и речь окружающих уже способствует запуску речи ребенка посредством слухового восприятия речи окружающих [12, с. 10].

Детям с ЗРР и/или ЗПРР и/или умственной отсталостью, аутизмом или другим неврологическим дефицитом перед окончательной постановкой диагноза и взятием на диспансерный учет необходимо более тщательно обращать внимание на состояние слуха, как одну из возможных причин развития данного состояния [15, с. 405]. В случае выявления изменений слуховой системы следует тут же приступить к абилитационным и реабилитационным мероприятиям [16, с. 148].

Таким образом, результаты исследования подчеркивают важность междисциплинарного подхода к решению проблем со слухом у детей, что требует активного сотрудничества врачей-сурдологов, педиатров, психологов, логопедов и других специалистов.

Заключение

На основании проведенного исследования отметим, что обследование слуховой системы у детей с задержкой речевого и умственного развития, а также умственной отсталостью имеет решающее значение. Ранняя диагностика и последующая коррекция выявленных нарушений слуха позволяют существенно улучшить качество жизни этих детей, способствовать тому, чтобы каждый из них получил право стать полноценным, образованным человеком с широким кругозором и возможностями.

Прогностическая ценность таких исследований неоспорима. Речь идет не только о возможности своевременного выявления и коррекции нарушений слуха, но и об определении эффективных направлений реабилитационной работы, способных существенно повысить способность ребенка к обучению и общению. Для достижения максимальных результатов необходим комплексный подход, учитывающий все аспекты здоровья и развития ребенка, включая психофизиологические и социальные факторы.

Выводы, сделанные на основе анализа представленных источников, свидетельствуют о том, что дальнейшие исследования в области комплексного отклонения слуха у детей, ранняя его диагностика, вовремя и верно поставленный диагноз, поэтапные методы коррекции и реабилитации – важнейшие звенья в цепи становления подрастающего поколения, которое и будет составлять потенциал большой страны.

Список литературы

1. Шамарина Е.В. Проблемы дифференциальной диагностики и коррекции речи младших школьников с задержкой психического развития // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2017. № 3 (75). С. 378-383.
2. Малофеев Н.Н. Научные достижения отечественной дефектологии как базис современной профилактической, коррекционной и реабилитационной помощи детям с нарушениями развития // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. 2014. № 2. С. 3-11.
3. Королева И.В. Реабилитация глухих детей и взрослых после кохлеар и ствломговой имплантации: монография. Санкт-Петербург: КАРО, 2019. 873 с.
4. Кобрин Л.М. Особенности диагностической и коррекционной работы с неслышащими детьми в условиях интеграции // Российская оториноларингология. 2006. № 2 (21). С. 100-103.
5. Горлова Н.Е. Речевое развитие детей с умственной отсталостью и задержкой психоречевого развития // Северный регион: наука, образование, культура. 2016. № 1 (33). С. 23-27.
6. Жулина Е.В., Кафьян Э.М. К вопросу о структуре психического развития детей с задержкой экспрессивной речи // Вестник Мининского университета. 2016. № 3 (16). С. 20-32.
7. Sunderajan T., Kanhere S.V. Speech and language delay in children: Prevalence and risk factors // J Family Med Prim Care. 2019. № 8 (5). P. 1642-1646. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_162_19.
8. Феклистова С.Н. Современный этап развития системы коррекционной работы по развитию слухового восприятия и устной речи детей с нарушением слуха: SWOT-анализ // Специальная адукация. 2018. №10. С. 21-26.
9. Феклистова С.Н. Интегративная технология слухоречевого развития детей с нарушением слуха // Педагогическая наука и образование. 2019. № 3. С. 78-86.
10. Лубовский В.И. Особые образовательные потребности // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2013. Т. 5. № 5 [Электронный ресурс]. URL: http://psy-edu.ru/files/articles/psyedu_ru_2013_5_Lubovskiy.pdf (дата обращения: 30.06.2024).
11. Хуторской А.В., Хуторская Л.Н. Компетентность как дидактическое понятие: содержание, структура и модели конструирования // Проектирование и организация самостоятельной работы студентов в контексте компетентностного подхода. Тула, 2008. Вып. 1. С. 117-137.
12. Четверикова Т.Ю. Методические аспекты проектирования сурдопедагогами технологической карты урока // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. 2022. № 4. С. 4-11.
13. Шматко Н.Д., Николаева Т.В. Выбор образовательного маршрута для глухого ребенка, завершающего дошкольное образование // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. 2020. № 5. С. 4-12.
14. Яхнина Е.З. Диагностический инструментальный оценки динамики развития восприятия и воспроизведения устной речи у глухих обучающихся начальных классов // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. 2022. № 7. С. 20-28.
15. Moges F.Y., Mengistu Z., Tilahun S.W. Determinants of speech and language delay among children aged 12 months to 12 years at Yekatit 12 Hospital, Addis Ababa, Ethiopia: a case-control study // BMC Pediatr. 2024. № 24 (1). P. 393-405. DOI: 10.1186/s12887-024-04862-4.
16. Zhou H., Xu Y., Chen L., Yuan J., Guan Z., Liang P. Transcranial direct current stimulation combined with language-cognitive training improves language and cognitive ability in children with language delay // Front Neurol. 2024. № 15. P. 141-150. DOI: 10.3389/fneur.2024.1412959.

ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ, СЛАБЫЕ ЗОНЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ

¹Петрушина М.В., ²Изотов О.И.

¹Акционерное общество (АО) А771, Москва, e-mail: mar.petrushina@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва

Современные технологии искусственного интеллекта трансформируют медицину, обеспечивая высокую точность диагностики и персонализацию лечения. Однако их внедрение связано с обработкой чувствительных персональных данных пациентов, что требует усиления мер защиты конфиденциальности. Цель исследования – оценить состояние правового регулирования и технических решений в области защиты данных при использовании искусственного интеллекта в медицине в России и за рубежом, выявить слабые зоны и перспективные тренды. Материалы и методы включали анализ нормативно-правовой базы, научных публикаций, кейсов внедрения систем искусственного интеллекта, экспертные интервью с представителями здравоохранения и индустрии информационных технологий, а также оценку технологий, таких как Federated learning и блокчейн. Результаты показали, что в России отсутствуют специализированные нормы для искусственного интеллекта, при этом 40% клиник не соответствуют требованиям кибербезопасности. За рубежом лидируют страны с комплексными стратегиями (Европейское сообщество, Китай, США), где сочетаются жесткие стандарты и инновационные подходы. Основные проблемы включают недостаточную цифровую грамотность медперсонала, риск обратной идентификации данных и этические дилеммы, связанные с дискриминацией алгоритмов. Выводы указывают на необходимость разработки специализированных законов, инвестиций в кибербезопасность, внедрения «регуляторных песочниц» и участия в международных стандартах обмена данными. Без системного подхода Россия рискует утратить доверие пациентов и отставание в развитии систем искусственного интеллекта в медицине.

Ключевые слова: здравоохранение, пациент, защита персональных данных, искусственный интеллект, лечение, безопасность, информация, блокчейн, «регуляторные песочницы», federated learning, международное сотрудничество

PROTECTION OF PATIENTS' PERSONAL DATA WHEN USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES: CURRENT STATE OF THE PROBLEM IN RUSSIA AND ABROAD, WEAKNESSES AND MODERN TRENDS

¹Petrushina M.V., ²Izotov O.I.

¹Joint-Stock Company (JSC) A771, Moscow, e-mail: mar.petrushina@yandex.ru;

²Russian Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

Modern artificial intelligence technologies are transforming medicine, providing high diagnostic accuracy and personalized treatment. However, their implementation involves processing patients' sensitive personal data, which requires strengthening privacy protection measures. The aim of the research is to assess the current state of legal regulations and technical solutions for data protection when applying artificial intelligence in medicine in Russia and abroad, identifying weak spots and promising trends. Materials and methods included analyzing legal frameworks, scientific publications, cases of artificial intelligence systems implementation, expert interviews with healthcare and information technology industry representatives, as well as evaluating technologies such as federated learning and blockchain. Results showed that Russia lacks specialized regulations for artificial intelligence, with 40% of clinics failing to meet cybersecurity requirements. Countries with comprehensive strategies (European Union, China, USA) are leading globally, combining stringent standards with innovative approaches. Main issues include insufficient digital literacy of medical staff, data re-identification risks, and ethical dilemmas related to algorithmic discrimination. Conclusions highlight the need for specialized legislation, investments in cybersecurity, implementation of "regulatory sandboxes," and participation in international data exchange standards. Without a systemic approach, Russia risks losing patients' trust and lagging in the development of medical artificial intelligence systems.

Keywords: healthcare, patient, personal data protection, artificial intelligence, treatment, security, information, blockchain, regulatory sandboxes, federated learning, international cooperation

Введение

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) трансформируют медицину, обеспечивая высокую точность диагностики, автоматизацию процессов и персонализацию лечения. Однако широкое внедрение ИИ в здравоохранение связано

с обработкой огромных объемов персональных данных пациентов, включая чувствительную медицинскую информацию. Это поднимает острые вопросы защиты конфиденциальности, особенно в условиях цифровизации и межведомственного взаимодействия. Проблема становится глобальной:

страны сталкиваются с вызовами в регулировании, технической реализации и этическом аспекте [1; 2].

Мировой рынок сбора и маркировки данных в здравоохранении в 2025 году ожидаемо достигнет 1,37 млрд долларов, при этом до 2037 года он может вырасти на 20,83 млрд долларов при среднегодовом темпе роста 25,8%¹. Кроме того, по прогнозам, общий рынок информационных технологий (ИТ) в медицине достигнет 662 млрд долларов к 2026 г.² ИИ-системы уже сейчас обрабатывают до 40% этих данных, обеспечивая анализ изображений, прогнозирование заболеваний и оптимизацию лечения [3]. Однако, как отмечают эксперты, только 30% стран мирового сообщества имеют специализированные нормативные рамки для защиты данных в ИИ-медицине³. В России, как и за рубежом, усилия направлены на баланс между инновациями и правами пациентов. Анализ текущего состояния, выявление «слабых зон» и прогнозирование трендов позволит сформировать стратегию безопасного развития ИИ-медицины.

По итогам исследования сети клиник «Будь Здоров» и страховой компании «Ингосстрах» были получены такие результаты: 51% граждан допускают использование ИИ для диагностики заболеваний и назначения лечения, 48% из них готовы частично довериться технологиям и лишь 3% – полностью. Одна из причин – опасения о нарушении конфиденциальности пациентов. Аналогичные данные приводит Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ): 68% россиян считают, что их права на конфиденциальность в цифровом здравоохранении недостаточно защищены⁴. Эти проблемы требуют системного подхода, объединяющего правовое регулирование, технические меры и этические принципы.

¹ Research Nester, Размер и доля рынка сбора и маркировки данных в сфере здравоохранения по типам данных (изображение, аудио, видео, текст); Конечное использование – SWOT-анализ, стратегический анализ конкуренции, региональные тенденции 2025-2037гг., ID отчёта: 6612, дата публикации: 10.01.2025; URL: <https://www.researchnester.com/ru/reports/healthcare-data-collection-and-labeling-market/6612> (дата обращения: 07.07.2025).

² Блог компании ITSoft, IT-гиганты нацелились на медицину. Что это значит для нас? – дата публикации: 20.07.2021; URL: <https://habr.com/ru/articles/568584/> (дата обращения: 07.07.2025).

³ World Health Organization. Ethics and governance of AI for health. Geneva: WHO guidance, 2021.; URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200> (дата обращения: 07.07.2025).

⁴ ВЦИОМ, Прогресс или угроза, или об искусственном интеллекте в медицине, дата публикации: 17.10.2023; URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/progress-ili-ugroza-ili-ob-iskusstvennom-intellekte-v-medicine> (дата обращения: 07.07.2025).

Тем не менее цифровизация здравоохранения в России движется семимильными шагами, и применение технологий ИИ в диагностике и лечении является одним из самых приоритетных направлений в развитии российской медицины.

Внедрение ИИ в российской медицинской практике могут проиллюстрировать следующие примеры:

- Сбербанк разработал платформу Sber Health, которая использует ИИ для анализа жалоб пациентов и предварительной диагностики. В 2023 г. платформа обрабатывала более 100 000 обращений в месяц, но столкнулась с критикой из-за недостаточной прозрачности в вопросах обработки персональных данных;

- Яндекс совместно с Институтом нейрохирургии имени Бурденко внедрил ИИ для анализа МРТ головного мозга. Проект повысил точность диагностики опухолей на 15%, однако также требует строгого контроля конфиденциальности данных [4].

Исследование, опубликованное в электронном журнале «Медвестник», показало, что несмотря на то, что половина россиян считает, что искусственный интеллект может использоваться в диагностике и лечении, только каждый шестой готов доверить нейросети собственное здоровье, в том числе – из-за опасений нарушения конфиденциальности их данных⁵.

По данным газеты «Ведомости», на июнь 2025 года около 83% организаций сферы здравоохранения недостаточно защищены от киберугроз, так как в их информационной инфраструктуре есть неустранимые критические уязвимости⁶.

Цель исследования – оценить состояние регулирования и практики защиты персональных данных пациентов при использовании ИИ в медицине в России и за рубежом, выявить ключевые проблемы и перспективные направления развития.

Задачи

1. Изучить правовые и технические рамки защиты данных в сфере ИИ-медицины, включая российские законы (ФЗ-152, ФЗ-323) и международные стандарты (GDPR, HIPAA).

2. Провести сравнительный анализ подходов в России, ЕС, США и странах Азии,

⁵ Шамардина Л. Больше 80% россиян не готовы доверить собственную диагностику и лечение нейросети // «Медвестник», дата публикации: 16.02.2023; URL: <https://medvestnik.ru/content/news/Bolshe-80-rossiyan-ne-gotovy-doverit-sobstvennuu-diagnostiku-i-lechenie-neiroseti.html> (дата обращения: 07.07.2025).

⁶ Более 80% организаций здравоохранения не защищены от хакеров // Ведомости. Дата публикации: 19.06.2025. URL: https://www.vedomosti.ru/press_releases/2025/06/19/bole-80-organizatsii-zdravoohraneniya-ne-zaschisleni-ot-hakerov (дата обращения: 08.07.2025).

выявив различия в регулировании и технологических решениях.

3. Определить слабые места в текущих системах: риски утечек, дефицит регулирования, этические дилеммы.

4. Выявить технологические и управленческие тренды для повышения безопасности данных.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на анализе нормативно-правовой базы, научных публикаций и отчетов международных организаций (ВОЗ, OECD). Для сравнительного анализа использовались данные по России, странам ЕС, США, Китаю и Японии. Методы включали:

- анализ более 60 российских и зарубежных источников информации в ведущих электронных и печатных изданиях;
- качественный анализ правовых актов (ФЗ-152, GDPR, HIPAA, NMPA);
- обзор кейсов внедрения ИИ в медицину (диагностика, телемедицина, анализ больших данных);
- экспертные интервью с представителями Минздрава, IT-компаний и юристов;
- анализ использования ИИ для диагностики рака, телемедицинских консультаций и анализа больших данных (Big Data) на примере систем IBM Watson Health (США), проекта DeepMind (Великобритания), платформы Ping An Good Doctor (Китай);
- оценку технологических решений: анализ эффективности обезличивания данных, шифрования, Federated learning и блокчейна на примере проекта MedRec (блокчейн в США), федеральных систем обмена данными в ЕС.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Правовое регулирование.

Россия

Защита данных в здравоохранении регулируется ФЗ-152 и ФЗ-323, которые требуют согласия пациентов на обработку данных, обезличивания при использовании ИИ и минимальных мер безопасности согласно Постановлению Правительства РФ № 1119⁷. При анализе открытых источников информации авторы столкнулись с тем, что в здравоохранении всё ещё существует недопонимание и ряд разночтений в текущем законодательстве. Медицинским работникам не совсем понятно, что именно

следует считать персональными данными пациента, а что – врачебной тайной, и какие уровни защиты предусмотрены для каждого из определений [5].

Важным шагом на пути регулирования защиты персональных данных пациента стало издание Приказа Минздрава № 965н «Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий», который устанавливает правила оказания телемедицинских услуг. В частности, документ обязывает медицинские учреждения:

- обеспечить шифрование данных при передаче через Интернет;
- использовать системы контроля доступа (например, двухфакторную аутентификацию);
- обезличивать данные при их передаче в ИИ-системы для анализа⁸.

Эти положения напрямую связаны с защитой конфиденциальности пациентов, особенно при внедрении ИИ в телемедицинские консультации. Однако эксперты отмечают, что реализация требований затруднена из-за отсутствия единой методики для ИИ-систем [6].

Кроме того, критика связана с отсутствием специализированных норм для ИИ. В 2023–2024 годах Минцифры РФ продвигало инициативы по регулированию ИИ: стратегия развития искусственного интеллекта в РФ до 2030 года (утверждена в 2023 г.) включает положения о защите данных в ИИ-системах, включая обязательную сертификацию «высокорисковых» алгоритмов⁹.

Законопроект «О регулировании искусственного интеллекта», который находится на рассмотрении в Госдуме, предполагает создание реестра ИИ-систем, обязывающего разработчиков соблюдать требования конфиденциальности и прозрачности.

В рамках Национального проекта «Кибербезопасность» запущен пилотный проект по внедрению стандартов ИИ-безопасности в здравоохранении, включающий шифрование данных и контроль доступа¹⁰.

⁸ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 30 ноября 2017 г. № 965н «Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий»; URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71751294/> (дата обращения: 07.07.2025).

⁹ «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», дата публикации: 15.02.2024. URL: <https://ai.gov.ru/knowledgebase/dokumenty-po-razvitiyu-ii-v-rf/nacionalnaya-strategiya-razvitiya-iskusstvennogo-intellekta-na-period-do-2030-goda/> (дата обращения: 07.07.2025).

¹⁰ Минцифры. Национальный проект «Кибербезопасность». URL: <https://digital.gov.ru/activity/kiberbezopasnost/> (дата обращения: 07.07.2025).

⁷ Постановление Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2012 г. № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных»; URL: <https://base.garant.ru/70252506/> (дата обращения: 07.07.2025).

ЕС

GDPR устанавливает строгие правила на основе принципа «прозрачности» и требует оценки рисков при ИИ-обработке. В 2023 г. Еврокомиссия одобрила закон об искусственном интеллекте, классифицирующий медицинские ИИ-системы как «высокорисковые», что усиливает требования к защите данных¹¹.

США

HIPAA ограничивает раскрытие данных, собранных медицинскими учреждениями, но ограничение не распространяется на данные с носимых устройств (например, фитнес-трекеров). Однако если данные передаются в клиники или страховые компании, подчиняющиеся HIPAA, они автоматически попадают под регулирование. Пример: Apple Health сотрудничает с клиниками США, где данные пациентов обрабатываются в соответствии с HIPAA¹² [7].

Китай

Закон об интернет-безопасности, принятый в Китае в 2021 г., усиливает контроль государства над медицинскими данными. Согласно закону, ИИ-системы обязаны проходить сертификацию перед внедрением, а данные пациентов хранятся в защищенных государственных облаках¹³.

Таким образом, в России в текущее время наблюдается дефицит специализированных норм для ИИ, но проблематику уже невозможно игнорировать, и новые инициативы Минцифры начали закладывать основы регулирования конфиденциальности персональных данных, тогда как в ЕС и Китае уже действуют четкие стратегии, закреплённые законодательно.

2. Технические меры.

Обезличивание данных – в России применяется недостаточно эффективно из-за риска обратной идентификации. Например, в 2022 г. в одном из регионов произошла утечка обезличенных данных, позволившая восстановить личности пациентов¹⁴. В ЕС и США активно используются алгоритмы дифференциальной приватности, которые

добавляют «шум» к данным, предотвращая их идентификацию.

С 2005 по 2019 год общее количество утечек данных в здравоохранении составило 249,9 миллиона. По словам нескольких специалистов, общее число людей, пострадавших от утечек данных в здравоохранении, составило 249,09 миллиона за этот же период. Только за предыдущие пять лет пострадали 157,40 миллиона человек [8].

Безопасность ИИ-систем – российские медучреждения часто игнорируют требования шифрования и контроля доступа (Постановление № 1119). По данным Роскомнадзора, 40% клиник не имеют систем обнаружения угроз, тогда как, например, в Японии внедрены стандарты JIS Q 15001, которые требуют ежегодного аудита безопасности данных. В России существуют разногласия между разработчиками программного обеспечения и пользователями цифровых систем, где сложно определить сторону, отвечающую за утечку персональных данных [9].

Federated learning

Перспективным методом, позволяющим обучать модели ИИ без передачи данных в облако, является Federated learning. Например, NVIDIA Clara Federated Learning активно используется в США и ЕС для обучения ИИ-моделей на данных из разных клиник без их централизованного хранения. Проект Federated Tumor Segmentation (FeTS) использует эту платформу для анализа МРТ-снимков пациентов с опухолями мозга.

Слабые места:

- недостаточная цифровая грамотность медперсонала. По данным из открытых источников, только 20% врачей в России прошли обучение по защите данных, а 68% не знакомы с основами кибербезопасности [10];

- из отчёта «Киберугрозы в здравоохранении: Россия в 2023 году» компании «Лаборатория Касперского» – 65% российских клиник используют устаревшие антивирусы без функции машинного обучения, а ИИ-мониторинг угроз внедрен только в 12% медицинских учреждений;

- согласно сравнительному анализу GDPR и российского законодательства, в России нет аналога европейских Data Protection Authorities (DPAs), что приводит к недостаточному контролю за соблюдением ФЗ-152 в здравоохранении [11].

3. Этические и социальные аспекты.

Согласие пациентов. В России, согласно исследованию НИУ ВШЭ, выполненному в 2023 году, 70% пациентов не осведомлены о том, как ИИ-системы обрабатывают их данные, а 63% не понимают, какие риски связаны с использованием искусственного

¹¹ European Commission. «AI Act». URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai> (дата обращения: 07.07.2025).

¹² U.S. Department of Health & Human Services. «Summary of the HIPAA Privacy Rule». URL: <https://www.hhs.gov/hipaa/for-professionals/privacy/laws-regulations/index.html> (дата обращения: 07.07.2025).

¹³ National Medical Products Administration (NMPA). China's Regulation on the Administration of Medical Devices. URL: <https://www.nmpa.gov.cn/zwgk/tzgg/index.html> (дата обращения: 07.07.2025).

¹⁴ Данные растут в цене // Коммерсантъ. Дата публикации: 24.04.2025. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7675231?ysclid=mct8f28wni756030426> (дата обращения: 07.07.2025).

интеллекта. Это указывает на дефицит информированного согласия, несмотря на требование ФЗ-323¹⁵.

В отличие от российских реалий, в ЕС пациентам предоставляют детальные объяснения о целях обработки их персональных данных. Например, в Германии обязательна письменная форма согласия с описанием рисков. По данным опроса пациентов в многопрофильной больнице Великобритании, уровень знаний респондентов об ИИ был низким, при этом большинство из них были готовы делиться данными с Национальной службой здравоохранения (77,9%), но менее готовы передавать свои данные коммерческим организациям и технологическим компаниям. Основная причина – опасения относительно приватности и конфиденциальности информации [12].

Дискриминация ИИ. В США зафиксированы случаи смещения алгоритмов в сторону определенных расовых групп. Например, исследование Obermeyer с соавторами, опубликованное в журнале *Science*, показало, что алгоритм диагностики диабета компании *Optum* давал заниженные оценки риска осложнений у пациентов африканского происхождения из-за использования исторических данных о расходах на лечение, а не основываясь на реальных потребностях [13]. Аналогичные результаты получены в исследовании *Stanford Medicine*, где нейросети, обученные на несбалансированных данных, демонстрировали снижение точности диагностики на 15–20% для пациентов с темным цветом кожи [14].

В России таких исследований пока нет, но эксперты предупреждают о похожих рисках, если данные для обучения ИИ будут нерепрезентативными.

4. Тренды развития

Метод Federated learning, позволяющий обучать ИИ-модели без передачи данных в облако, активно развивается за рубежом (примеры: *NVIDIA Clara Federated Learning* в США, проекты *Google Health*). В России пока нет массовых пилотных проектов FL в здравоохранении, однако в 2022 году стартовал проект по дистанционному мониторингу состояния здоровья пациентов с использованием диагностических приборов – данные с них поступают на цифровую платформу для дальнейшей обработки врачами-специалистами из медицинских центров. В рамках проекта пациентам с диабетом или гипертонией выдаются диагностические приборы, данные

с которых поступают на платформу, а затем обрабатываются врачами¹⁶.

Минцифры РФ подчеркивает, что развитие FL станет одним из приоритетов для обеспечения конфиденциальности данных в ИИ-медицине в ближайшем будущем.

Блокчейн

Блокчейн – это децентрализованная распределенная база данных, которая обеспечивает:

- неизменность записей: данные нельзя изменить или удалить без согласия всех участников сети;
- прозрачность: все операции с данными отслеживаются и хранятся в виде цепочки блоков;
- контроль доступа: пациенты могут управлять правами на свои данные через смарт-контракты.

В здравоохранении блокчейн применяется для:

- хранения медицинских записей (электронные истории болезни);
- управления доступом к данным (например, обмен между клиниками и пациентами);
- децентрализованного хранения данных.

Примером может послужить проект *MedRec* в США, который позволяет пациентам контролировать доступ к своим данным через блокчейн. В Эстонии – проект *Guardtime*, специализирующийся на обеспечении безопасности данных – применяется для защиты данных систем электронного здравоохранения страны. В проекте *Hashed Health* (США) блокчейн применяется для обмена данными между страховыми компаниями, клиниками и пациентами.

В России блокчейн пока не получил массового распространения в здравоохранении, но есть пилотные проекты. Большинство проектов находится на начальной стадии и реализуется в основном в рамках частных инициатив. Информация о конкретных результатах, достигнутых в рамках анонсированных проектов, недоступна. Среди известных блокчейн-инициатив российских медицинских учреждений – применение блокчейна для хранения медицинских данных в ОАО «Медицина», а также использование технологии для контроля медицинских услуг сетью «Открытая клиника». В качестве региональных проектов следует выделить использование блокчейна

¹⁵ Федеральный закон от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». URL: <https://minzdrav.gov.ru/documents/7025> (дата обращения: 08.07.2025).

¹⁶ Министерство здравоохранения РФ. В России стартовал пилотный проект по дистанционному мониторингу состояния здоровья пациентов с использованием высокотехнологичных устройств и сервисов. Дата публикации: 29.12.2022. URL: <https://minzdrav.gov.ru/news/2022/12/29/19716-v-rossii-startoval-pilotnyy-proekt-po-distantsionnomu-monitoringu-sostoyaniya-zdorovya-patsientov-s-ispolzovaniem-vysokotekhnologichnyh-ustroystv-i-servisov> (дата обращения: 07.07.2025).

для мониторинга оборота лекарств в больнице Новгородской области. Московская область еще в 2017 г. анонсировала планы по использованию блокчейна для хранения медицинских карт граждан [15].

На сегодняшний день и в России, и в других странах отсутствуют четкие нормы для использования блокчейна в здравоохранении, кроме того, интеграция блокчейна с существующими системами (например, ЕГИС) требует значительных инвестиций.

Регуляторные песочницы

«Регуляторная песочница» – это контролируемая среда, созданная государственным регулятором, где компании могут тестировать инновационные продукты, технологии или бизнес-модели под надзором с ограниченными рисками. В здравоохранении такие песочницы позволяют:

- тестировать ИИ-системы для диагностики, прогнозирования заболеваний и обработки персональных данных;
- соблюдать требования ФЗ-152 (защита персональных данных) и ФЗ-323 (конфиденциальность медицинской информации);
- минимизировать юридические барьеры для внедрения технологий без полной лицензии.

В 2024 году Минцифры РФ запустило пилотные «регуляторные песочницы» для тестирования ИИ-продуктов в здравоохранении – проект, который Минздрав совместно с Минэкономразвития и Минцифры подготовил для использования обезличенных медицинских данных без согласия пациентов. Планируется, что до конца 2025 года установят экспериментальный правовой режим (ЭПР) в сфере медицинских данных. Тестирование будет проходить в течение трёх лет на территории всей страны. Обезличенные данные в рамках ЭПР будут использоваться для научных исследований, опытно-конструкторских работ и разработок моделей машинного обучения, а также для исследования реальной клинической практики, например оценки и контроля качества применения лекарственных средств при оказании медицинской помощи. Сбор, обработка и анализ обезличенных данных будут осуществляться на специальной цифровой платформе, доступ к которой будет предоставлен ограниченному кругу лиц¹⁷.

Международное сотрудничество

Global Health Data Exchange (GHDx) – это платформа, разработанная Институтом метрики и оценки в здравоохранении (IHME) при Вашингтонском университете

(США). Основная цель GHDx – создание открытой базы данных для глобального обмена информацией о здоровье, включая эпидемиологические данные, результаты исследований и данные о применении ИИ в медицине.

Ключевые функции:

- стандартизация данных: GHDx внедряет международные стандарты, такие как FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), которые позволяют унифицировать форматы хранения и обмена медицинскими данными;
- открытый доступ: платформа предоставляет бесплатный доступ к данным о заболеваниях, вакцинации, демографии и других показателях здоровья;
- поддержка ИИ-исследований: данные GHDx используются для обучения и тестирования ИИ-моделей, например, для прогнозирования эпидемий или анализа эффективности лечения.

Участники платформы: более 180 стран, включая Россию и Китай¹⁸.

В 2021 году ВОЗ опубликовала рекомендации по этическому использованию ИИ в медицине, включая требования к защите данных и прозрачности алгоритмов¹⁹.

В июле 2024 года сообщалось, что ведущие медицинские вузы России и Китая договорились развивать сотрудничество в сферах цифровой и персонализированной медицины. Некоторые аспекты, обсуждавшиеся на двусторонней тематической встрече:

- использование искусственного интеллекта, больших данных и других передовых технологий для улучшения качества медицинского обслуживания;
- разработка и внедрение персонализированных методов лечения и профилактики заболеваний²⁰.

Заключение

Современные ИИ-технологии открывают новые горизонты для медицины, но требуют усиленной защиты персональных данных. В России ключевые проблемы включают правовой разрыв в регулировании ИИ, техническую уязвимость систем и недостаточную информированность пациентов. За рубежом лидируют страны с комплексными стратегиями (США, ЕС, Китай), где

¹⁸ Global Health Data Exchange. URL: <https://ghdx.healthdata.org/> (дата обращения: 07.07.2025).

¹⁹ World Health Organisation. Global Initiative on AI for Health. URL: <https://www.who.int/initiatives/global-initiative-on-ai-for-health> (дата обращения: 07.07.2025).

²⁰ Медвузы России и КНР договорились о сотрудничестве в цифровой медицине. // Риа Новости. Дата публикации: 06.07.2024. URL: <https://ria.ru/20240706/medvuzy-1957904633.html> (дата обращения: 07.07.2025).

¹⁷ Арялина М. Минздрав, Минцифры и Минэк смогли договориться об эксперименте с медданными // Ведомости. Дата публикации: 17.03.2025. URL: <https://portal.egis.ru/rsminzdrav.ru/news/1009> (дата обращения: 07.07.2025).

сочетаются жесткие нормы и стимулирование инноваций.

На основании полученных и проанализированных данных можно выделить следующие направления развития кибербезопасности при использовании ИИ в медицинских учреждениях Российской Федерации:

- разработка юридических основ применения ИИ в здравоохранении, включая ответственность разрабатывающей стороны и пользователей за полученные результаты;
- увеличение объемов финансирования обеспечения мероприятий кибербезопасности, внедрение закрытых каналов шифрования, Federated learning и проведение регулярных проверок;
- обучение медицинского персонала основам кибербезопасности и кибергигиены в лечебных учреждениях, информирование пациентов об их правах и рисках при использовании ИИ в здравоохранении;
- широкое применение практики «регуляторных песочниц» для создания и тестирования инновационных продуктов с использованием ИИ, учитывая необходимость контроля конфиденциальности;
- участие в международных платформах по обмену данными информации о здоровье пациентов, разработанных с учётом мировых стандартов защиты персональных данных (например, GHDx).

Без решительных мер Россия рискует отстать в гонке за лидерство в ИИ-медицине, потеряв доверие пациентов и инвестиции, которые в приоритетном порядке государство и частный бизнес выделяют на разработку новых продуктов, связанных с применением ИИ в здравоохранении.

Список литературы

1. Elendu C., Amaechi D.C., Elendu T.C., Jingwa K.A., Okoye O.K., John Okah M., et al. Ethical implications of AI and robotics in healthcare: a review // *Medicine (Baltimore)*. 2023. Vol. 102(50). № e36671. DOI: 10.1097/MD.00000000000036671. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38115340/> (дата обращения: 24.07.2025).
2. Marques M., Almeida A., Pereira H. The medicine revolution through artificial intelligence: ethical challenges of machine learning algorithms in decision-making // *Cureus*. 2024. Vol. 16(9). № e69405. DOI: 10.7759/cureus.69405. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11473215/> (дата обращения: 24.07.2025).
3. Jiang F., et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future // *Stroke Vasc Neurol*. 2017. Vol. 2(4). P. 230–243. DOI: 10.1136/svn-2017-000101 (дата обращения: 24.07.2025).
4. Данилов Г.В., Ишанкулов Т.А., Котик К.В., Шифрин М.А., Потапов А.А. Технологии искусственного интеллекта в клинической нейроонкологии // *Вопросы нейрохирургии им Н.Н. Бурденко*. 2022. Vol. 86(6). С. 127–133. DOI: 10.17116/neiro202286061127. URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/zhurnal-voprosy-nejrokhirurgii-imeni-n-n-burdenko/2022/6/1004288172022061127> (дата обращения: 24.07.2024).
5. Ваулин Г.Ф., Тихомирова А.А., Котиков П.Е. Защита персональных данных пациентов в медицинских информационных системах // *FORCIPE*. 2022. Vol. 5(S2). С. 111–112. URL: <https://ojs3.gpmu.org/index.php/forcipe/article/view/4428> (дата обращения: 24.07.2025).
6. Li Y.H., Li Y.L., Wei M.Y., Li G.Y. Innovation and challenges of artificial intelligence technology in personalized healthcare // *Sci Rep*. 2024. Vol. 14. № 18994. DOI: 10.1038/s41598-024-70073-7. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11329630/> (дата обращения: 18.07.2025).
7. Tariq R.A., Hackert P.B. Patient confidentiality. 2023 Jan 23. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2025. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30137825/> (дата обращения: 24.07.2025).
8. Khalid N., Qayyum A., Bilal M., Al-Fuqaha A., Qadir J. Privacy-preserving artificial intelligence in healthcare: techniques and applications // *Comput Biol Med*. 2023. Vol. 158. № 106848. DOI: 10.1016/j.combiomed.2023.106848. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37044052/> (дата обращения: 24.07.2025).
9. Гаев Л.В., Пахомов А.А., Клименко Н.Д. Кибербезопасность в медицинских учреждениях: защита личных данных пациентов. В кн.: *Человек и общество в современном киберпространстве: материалы III Международной научной конференции молодых ученых (26 апреля 2024 г. Москва)*. М.: Энциклопедист-Максимум, 2024. С. 61–66. EDN: WJUNBH. URL: <https://elibrary.ru/WJUNBH> (дата обращения: 23.07.2025).
10. Казанфарова М.А., Природова О.Ф., Ардаширова Н.С. Развитие цифровых компетенций медицинских работников // *Медицинское образование и профессиональное развитие*. 2023. Vol. 14(2). С. 109–122. DOI: 10.33029/2220-8453-2023-14-2-109-122.
11. Денисов И.С., Ахматова Д.Р., Кабакова В.М. Сравнительная характеристика GDPR и российского законодательства о персональных данных // *Экономика. Право. Общество*. 2019. Vol. 1. С. 21–27. URL: <https://epo.rea.ru/jour/article/view/115/108> (дата обращения: 23.07.2025).
12. Aggarwal R., Farag S., Martin G., Ashrafian H., Darzi A. Patient perceptions on data sharing and applying artificial intelligence to health care data: cross-sectional survey // *J Med Internet Res*. 2021. Vol. 23(8). № e26162. DOI: 10.2196/26162. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8430862/> (дата обращения: 24.07.2025).
13. Obermeyer Z., Powers B., Vogeli C., Mullainathan S. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations // *Science*. 2019. Vol. 366(6464). DOI: 10.1126/science.aax2342. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31649194/> (дата обращения: 07.07.2025).
14. Shanklin R., Samorani M., Harris S., et al. Ethical redress of racial inequities in AI: lessons from decoupling machine learning from optimization in medical appointment scheduling // *Philos Technol*. 2022. Vol. 35. № 96. DOI: 10.1007/s13347-022-00590-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13347-022-00590-8> (дата обращения: 07.07.2025).
15. Куракова Н.Г., Черченко О.В., Цветкова Л.А. Технологии блокчейн в здравоохранении: позиции России на глобальном публикационном ландшафте // *Врач и информационные технологии*. 2021. Vol. 1. P. 25–39. DOI: 10.25881/ITP.2021.59.48.003. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-medsine-i-zdravooxranenii-pozitsii-rossii-na-globalnom-patentnom-i-publikatsionnom/viewer> (дата обращения: 24.07.2025).

УДК 616.24-002.14

КОМБИНИРОВАННАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ ВЕНТИЛЯТОР-АССОЦИИРОВАННОЙ ПНЕВМОНИИ

¹Чеченин М.Г., ²Дубровин А.А., ²Малярова О.Г., ²Величко А.Я.*ФГБНУ Федеральный исследовательский центр фундаментальной
и трансляционной медицины, Новосибирск, e-mail: chechenin1970@mail.ru;**²ГБУЗ НСО «Городская клиническая больница № 11», Новосибирск*

Искусственная вентиляция легких осложняется неоднородностью легких и вентилятор-ассоциированной пневмонией. Пилотное исследование эффективности способа коррекции неоднородности легких выполнено у 12 пациентов, имеющих риск возникновения пневмонии после операции или в результате болезни, критического состояния. Критерии включения: 1) искусственная вентиляция легких, продолжающаяся 25–48 ч; 2) прогнозируемая по тяжести состояния и/или по индексу Тобина потребность в продлении вентиляции легких минимум на 24 ч; 3) отсутствие противопоказаний к перевороту на живот; 4) отсутствие пневмонии до интубации трахеи. В основной группе (n = 6) использовали кинетическую терапию, включающую повороты пациента 8 раз в сутки с 6-часовым пребыванием в prone-позиции в сочетании с введением пропорола, нитроглицерина, антибактериальных препаратов. В контрольной группе (n = 6) пациенты поворачивались на бок и спину 8 раз в сутки; препараты вводились независимо от положения тела. До 10 суток исследования определяли SpO₂/FiO₂, наличие/отсутствие пневмонии по шкале клинической оценки легочной инфекции. Исключались пациенты, экстубированные в первые 10 ч, либо при возникновении противопоказаний для переворотов. В первые сутки значимое повышение SpO₂/FiO₂ вызывали prone-позиция и суточная динамика в основной группе. В течение 10 суток в основной группе по сравнению с контрольной чаще были пациенты без пневмонии – в 3,1 раза, переведенные на спонтанное дыхание – в 1,8 раза. Снижение частоты и длительности пневмонии, сроков искусственной вентиляции легких под действием комбинированной кинетической терапии начиналось с третьих суток. В основе влияния на патогенез пневмонии кинетической терапии, комбинированной с пропоролом, нитроглицерином и антибиотиками, лежит нормализация регионарных функций легких с восстановлением оксигенирующей. Другим вероятным механизмом профилактики и лечения инфекций нижних дыхательных путей, изучение которого предстоит, могло быть внутрилегочное перераспределение антибиотиков и микрофлоры.

Ключевые слова: вентилятор-ассоциированная пневмония, кинетическая терапия, prone-позиция, пропорол, нитроглицерин, антибактериальный препарат, неоднородность легких, перераспределение микрофлоры легких

COMBINED KINETIC THERAPY OF VENTILATOR-ASSOCIATED PNEUMONIA

¹Chechenin M.G., ²Dubrovin A.A., ²Malyarova O.G., ²Velichko A.Ya.*¹Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine,
Novosibirsk, e-mail: chechenin1970@mail.ru;**²City Clinical Hospital No. 11, Novosibirsk*

Artificial lung ventilation is complicated by lung heterogeneity and ventilator-associated pneumonia. A pilot study of the effectiveness of the method for correcting lung heterogeneity was performed in 12 patients at risk of pneumonia after surgery or as a result of illness. Inclusion criteria: 1) artificial lung ventilation, lasting 25–48 hours; 2) the need for prolongation of ventilation for at least 24 hours, predicted by the severity of the condition and the Tobin index; 3) no contraindications to prone position; 4) absence of pneumonia before tracheal intubation. In the main group (n=6) kinetic therapy was used, including turns of the patient 8 times a day with a 6-hour stay in the prone position in combination with propofol, nitroglycerin and antibacterial drugs. In the control group (n=6) patients turned on their sides and back 8 times a day; drugs were administered regardless of body position. Up to 10 days of the study SpO₂/FiO₂ and pneumonia were determined on the clinical pulmonary infection score. On the first day, a significant increase in SpO₂/FiO₂ was caused by prone positioning and diurnal dynamics in the main group. During 10 days, patients without pneumonia were 3.1 times more likely to be diagnosed in the main group and those who were switched to spontaneous breathing 1.8 times more likely than in the control group. The effect of combined kinetic therapy on the pathogenesis of pneumonia is based on the normalization of regional lung functions. Another possible mechanism could be the intrapulmonary redistribution of antibacterial agents and microbiota.

Keywords: ventilator-associated pneumonia, kinetic therapy, prone position, propofol, nitroglycerin, antibacterial drug, lung heterogeneity, redistribution of lung microbiota

Введение

Пневмония занимает одно из лидирующих мест среди причин смерти больных различного профиля всех возрастных групп

[1, 2]. Проведение инвазивной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) увеличивает риск развития пневмонии в 6–21 раз [3, 4]. Пневмония, возникающая после 48 ч инту-

бации трахеи, считается вентилятор-ассоциированной (ВАП) [5, 6]. Прогрессирующая ВАП проявляется острым респираторным дистресс-синдромом (ОРДС) и тяжелым сепсисом [7, 8]. Летальность больных с ВАП составляет от 10 до 65 %, причем сама пневмония является причиной летального исхода примерно у 30 % пациентов [7, 9]. По типу возбудителей преобладает нозокомиальная бактериальная ВАП [6, 10, 11]. Главный компонент ее лечения – антибактериальная терапия (АБТ) [12, 13]. Эффективность АБТ инфекций нижних дыхательных путей снижается при развитии неоднородности легочной ткани и сопутствующей ей неравномерности регионарных легочных функций: вентиляции и перфузии [14, 15]. Развитию неоднородности способствуют: 1) неподвижность больного; 2) инвазивная ИВЛ методом вдувания; 3) регионарная внутрилегочная гипоксия; 4) несоответствие антибактериального препарата (АБП) микробному спектру [16, 17]. Несоответствие АБП легочной флоре вызвано тем, что в условиях патологической неоднородности легких посев бронхоальвеолярной лаважной жидкости 1 сегмента не может отражать микробиологическую картину 18 остальных [14, 18].

К сожалению, научные публикации I–II уровней доказательности, освещающие данные вопросы патофизиологии ВАП, отсутствуют, а в руководствах, учебных пособиях и стандартах лечения пневмонии эти регионарные механизмы патогенеза, открытые в середине – начале второй половины XX в., не упоминаются [19, 20]. Несмотря на то, что длительная ИВЛ сейчас проводится технически более качественно, чем 30–50 лет назад, инфицирование дыхательных путей полирезистентной госпитальной микрофлорой, сроки ИВЛ, госпитализации и летальность у пациентов с ВАП остаются высокими [5, 21]. Это подталкивает ученых к уточнению патогенеза, к поиску новых методов повышения эффективности терапии и профилактики инфекций нижних дыхательных путей [22]. На современном этапе развития медицины учение о региональных функциях легких крайне удачно вписывается в патогенез ВАП, ОРДС, сепсиса и открывает пути оптимизации лечения длительно вентилируемых пациентов [20, 23].

Таким образом, для эффективной профилактики и лечения ВАП необходимо четко представлять и целенаправленно корректировать факторы ее патогенеза, которые вызывают и поддерживают патологическую неоднородность легких: 1) гравитационный фактор повреждения легких в результате неподвижности; 2) воздействие ИВЛ методом

вдувания на легкие, центральную и регионарную гемодинамику [24]; 3) регионарную гипоксию на фоне нарушения внутрилегочных механизмов гипоксической вазоконстрикции [25]; 4) неравномерность распределения АБП и микрофлоры в легких [26].

Единственным действенным методом коррекции гравитационного фактора возникновения застойных вентро-дорзальных различий гидратированности легких является кинетическая терапия (КТ) – позиционирование вентилируемого больного для устранения вертикального градиента внутриорганного распределения жидкости, газа и для восстановления вентиляции и перфузии, а значит, диффузии и оксигенации [27–29]. Отрицательное гемодинамическое действие ИВЛ методом вдувания устраняется режимами ИВЛ с минимальным эффективным средним внутригрудным давлением (вспомогательная, высокочастотная, протективная, внутрилегочная перкуссионная ИВЛ) на фоне нормализации механики дыхания под действием КТ [25, 30]. Для устранения гипоксической легочной вазоконстрикции в плохо вентилируемых участках легких в процессе КТ обоснованно использовать инфузию вазодилатора нитроглицерина [20, 31]. Эффекты нитроглицерина на легочную перфузию могут быть усилены гипнотиком пропофолом [27]. Для поддержания оптимальной концентрации АБП в инфицированных участках легких целесообразно связать режим введения препарата с другими методами лечения, восстанавливающими регионарные функции легких, например с КТ [32]. Неравномерность распределения микрофлоры в легких стоит учитывать при выборе режима позиционирования больного в процессе КТ, при выявлении возбудителя ВАП и при назначении АБП [33].

С учетом вышесказанного был разработан способ профилактики и лечения ВАП, использующий патогенетически обоснованное сочетание КТ с инфузией вазоактивного, седативного и антибактериальных препаратов [32].

Цель исследования – повысить эффективность терапии и профилактики инфекций нижних дыхательных путей у вентилируемых пациентов за счет коррекции неоднородности легких путем патогенетически обоснованного включения в комплекс лечения и профилактики ВАП кинетической терапии в сочетании с введением вазоактивного, седативного и антибактериальных препаратов.

Материалы и методы исследования

Для оценки эффективности применения разработанного способа в комплексе про-

филактики и лечения ВАП в ходе пилотного проспективного исследования обследовано 12 впоследствии выживших пациентов отделения реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) многопрофильного стационара, которым проводилась инвазивная ИВЛ не менее 48 ч. Показанием для начала и пролонгации ИВЛ служила стойкая дыхательная недостаточность (ДН) после операции и/или в результате болезни (табл. 1).

Критерии включения в исследование: 1) ИВЛ, продолжающаяся 25–48 ч (вторые сутки); 2) необходимость продления ИВЛ еще минимум на 24 ч, прогнозируемая по тяжести состояния и/или по критерию отлучения от респиратора (индекс Тобина f/V_t более 105 при дыхании в режиме СРАР с РЕЕР 5 см вод. ст. и FiO_2 0,3); 3) отсутствие противопоказаний для переворота на живот (шока, кровотечения, открытых послеоперационных ран, лапаростомы, необходимости проведения экстракорпоральной гемокоррекции или мембранной оксигенации); 4) отсутствие признаков пневмонии исходно до интубации трахеи.

Критерии исключения из исследования: 1) быстрая положительная динамика общего состояния, отлучение от ИВЛ и экстубация в первые 10 ч исследования; 2) явная отрицательная динамика общего состояния с возникновением противопоказаний для переворота на живот в результате прогрессирования полиорганной недостаточности, хирургического сепсиса, экстренно-го оперативного вмешательства.

Изначально в исследование были включены 17 пациентов, из которых 5 были исключены: 4 были экстубированы в первые 10 ч исследования; 1 на третьи сутки исследования нуждался в экстренной релапаротомии. В итоге предметом анализа стали результаты обследования 12 длительно (более двух суток) вентилируемых впоследствии выживших пациентов, у которых наблюдались постепенные положительная динамика общего состояния, купирование дыхательной недостаточности, восстановление спонтанного дыхания и перевод в профильное отделение из ОРИТ. Средняя длительность ИВЛ у них составила $7,2 \pm 6,13$ суток (табл. 1).

До включения в исследование и разделения на группы позиционирования всех больных было однотипным общепринятым. Ежедневно в 08:00 оценивали критерии включения в исследование и при их соответствии распределяли пациента в одну из групп методом слепых конвертов, после чего начинали различное лечение: у 6 больных основной группы использовали способ профилактики и ле-

чения ВАП, включающий повороты пациента на 90 и 180° 8 раз в сутки (сумма углов поворотов 1080°/сут, табл. 3), в том числе ежедневное 6-часовое пребывание в положении на животе с седацией пропофолом, вазодилатацией нитроглицерином и с введением АБП [32]; у 6 больных контрольной группы продолжали общепринятую схему позиционирования без прон-позиции, не связанную с седацией, вазодилатацией и введением АБП. Пациенты контрольной группы поворачивались на 90° по схеме: спина – бок – спина – другой бок и так далее 8 поворотов в сутки (сумма углов поворотов 720°/сут, табл. 3).

Способ профилактики и лечения ВАП в основной группе выполняли следующим образом. Интубированного вентилируемого пациента начиная с 08:00 первых суток исследования (вторых суток ИВЛ) ежедневно укладывали в позиции КТ: 3 часа на спине; 2 часа на боку; 2 часа на другом боку; 3 часа на спине; 6 часов на животе; 4 часа на спине; 2 часа на боку; 2 часа на другом боку (табл. 3). Для профилактики трофических осложнений, когда больной лежал на животе 6 часов или на спине 4 часа, через каждые 2 часа изменяли центр тяжести больного, подкладывая подушки или валики под грудь и таз с одного и другого бока поочередно. Повороты больных проводили после стабилизации гемодинамики. Прон-позицию, а затем пребывание в этом положении выполняли на фоне инфузии пропофола со скоростью 3–10 мг/кг/час. Микроструйное введение пропофола начинали за 20 мин до поворота на живот и заканчивали перед поворотом на спину. Через 5 мин после поворота больного на живот начинали инфузию нитроглицерина в дозе 0,5–1 мкг/кг/мин длительностью 5 ч. При любой кратности дозирования АБП в основной группе одно из введений выполняли через 10 мин после поворота больного на живот. При двукратном режиме дозирования второе введение АБП выполнялось после поворота на бок, при трехкратном – второе и третье введения АБП выполняли в положении на спине (табл. 3).

В контрольной группе седацию пропофолом и вазодилатацию нитроглицерином выполняли независимо от положения тела по клиническим показаниям. Антибиотики, дозируемые 1 раз в сутки, вводили в положении на спине; дозируемые 2 или 3 раза в сутки – на спине и на боку (табл. 3).

Выбор АБП в обеих группах проводился по одинаковой дезскалационной схеме [34].

Больные обеих групп получали респираторную, нутритивную, гемодинамическую поддержку по единым схемам.

Таблица 1

Характеристика пациентов

№ п/п	Пол	Возраст	Описание патологии и лечебных мероприятий	Группа	Срок ИВЛ, сут
1.	Ж	87	Язвенная болезнь желудка, осложненная перфорацией. Распространенный серозно-фибринозный перитонит. Ушивание перфоративной язвы желудка. ИБС. Пароксизмальная форма ФП. ГБ 3 ст., контролируемая АГ, риск 4, ХСН 1. Состояние после перелома правой бедренной кости	О	3
2.	М	64	Флегмона мошонки. Невправляемая пахово-мошоночная грыжа справа. ГБ 3, контролируемая АГ, риск 4. Резидуальные явления перенесенного ОНМК (2). ИБС стенокардия напряжения. Пароксизмальная форма ФП. ХСН 2А	О	3
3.	Ж	53	Острый тромбоз аорто-подвздошных сегментов с обеих сторон. Острая ишемия нижних конечностей. Хроническая ревматическая болезнь сердца, приобретенный порок митрального клапана (стеноз), персистирующая форма ФП, резидуальные явления ОНМК, ГБ 3, АГ 3, риск 4	О	4
4.	Ж	62	Неспецифический язвенный колит, тяжелое течение. Токсическая дилатация поперечно-ободочной кишки, перфорация, распространенный гнойный перитонит. Обструктивная резекция поперечно-ободочной кишки	О	5
5.	М	47	Структурная лобная эпилепсия, дебют. Эпистатус	О	4
6.	М	70	ХОБЛ 3 смешанный вариант, крайне тяжелое обострение. Бронхиальная астма, не контролируемая, тяжелое течение. Эмфизема, пневмосклероз. ОДН. ГБ 3, риск 4. Пароксизмальная форма ФП. Постгипоксическая энцефалопатия. Трахеостомия	О	12
7.	М	51	Эпилепсия. Эпистатус. Постгипоксическая энцефалопатия. Трахеостомия	К	14
8.	М	86	ИБС. Постоянная форма ФП. Тромбоэмболия легочной артерии без острого легочного сердца. ГБ 3, АГ 3, риск 4	К	6
9.	Ж	53	Злокачественное новообразование шейки матки с распадом. Пузырно-влагалищный свищ. Острый тромбоз артерий левой нижней конечности. Гнилостная флегмона левого бедра и забрюшинного пространства. Сепсис. Хроническая анемия средней степени. Кахексия	К	4
10.	М	59	ХОБЛ 3 смешанный вариант, тяжелое обострение. ОДН. Вторичный бронхоспастический синдром. Трахеостомия	К	23
11.	М	66	Межкишечный абсцесс. Спайки брюшной полости. Операция лапаротомия, резекция тонкой кишки с анастомозом «бок в бок». ГБ 3, риск 4. Ожирение 3 ст.	К	5
12.	Ж	77	Спонтанный разрыв образования левой почки. Забрюшинная гематома слева. Острая постгеморрагическая анемия. Ангиомиолипома правой почки. ГБ 3, АГ 3, риск 4. Резидуальные явления перенесенного ОНМК. ИБС. Стенокардия напряжения ФК 2. Двухсторонний гидроторакс. Хронический вирусный гепатит С минимальной степени активности	К	3

Примечание: М – мужской, Ж – женский, О – основная, К – контрольная, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ФП – фибрилляция предсердий, ГБ – гипертоническая болезнь, АГ – артериальная гипертензия, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ОДН – острая дыхательная недостаточность

Таблица 2

Шкала клинической оценки легочной инфекции, Clinical Pulmonary Infection Score (CPIS)

Параметры	Баллы по шкале CPIS		
	0	1	2
Секрет ТБД	Нет или почти нет	Обильный	Обильный, гнойный
Рентген грудной клетки	Без инфильтратов	Диффузные инфильтраты	Очаговые инфильтраты
Температура тела	36,0–38,4 °C	38,5–38,9 °C	< 36 °C или > 39 °C
Число лейкоцитов в крови ($10^3/\text{мм}^3$)	4–11	< 4 или > 11	< 4 или > 11 + сегментоядерные $\geq 50\%$
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ мм рт. ст. или $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$	> 240 или ОРДС*	–	< 240 + нет ОРДС*
Микробиология секрета ТБД	Отрицательная**	–	Положительная

Примечание. * – ОРДС диагностируется при $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$ и при наличии острых диффузных билатеральных легочных инфильтратов по рентгенограмме, которые нельзя было объяснить кардиогенной природой или перегрузкой жидкостью;

** < $10^4/\text{мл}$ КОЕ при микробиологическом исследовании бронхоальвеолярной лаважной жидкости;

ТБД – трахеобронхиальное дерево, ОРДС – острый респираторный дистресс-синдром

Таблица 3

Последовательность изменений положения тела больных и введения антибактериальных препаратов [32], динамика $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ в исследуемых группах, $M \pm m$

Основная группа	Время суток															
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Момент введения антибиотика			III								I, II, III					
№ позиции	1			2		3		4				5		6		
Позиция	На спине	На спине	На боку	На боку	На другом боку	На спине	На спине	На животе	На спине	На спине	На спине	На другом боку	На другом боку	На боку	На другом боку	На спине
$\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$	323±11,2	323±11,2	318±8,5	329±7	342±7,3	370±8,7	384±10,4	385±8,2	391±9,4							
Момент введения антибиотика						III					II			III		I, II, III
№ позиции	1			2		3		4			4		5	6	7	8
Позиция	На спине	На спине	На боку	На боку	На спине	На спине	На другом боку	На другом боку	На спине	На спине	На другом боку	На другом боку	На спине	На спине	На другом боку	На спине
$\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$	328±9,2	320±8,4	330±8,6	325±7,7	334±9,1	329±7,4	333±8,9	335±9,3	343±11							

Примечание. I – однократный режим введения АБП; II – двукратный режим введения АБП; III – трехкратный режим введения АБП; АБП – антибактериальный препарат.

Для прогнозирования необходимости продолжения ИВЛ оценивали индекс Тобина f/Vt (ЧД/ДО в литрах) [5, 20]. Для стандартизации измерений его определяли при дыхании в режиме СРАР с РЕЕР 5 см вод. ст. с FiO_2 0,3 без поддержки давлением или объемом. ИВЛ продолжалась, если f/Vt был более 105.

Для диагностики ВАП использовали шкалу клинической оценки легочной инфекции CPIS (табл. 2). Пневмония выставлась при оценке 6 и более баллов [35].

В связи с малым числом обследованных пациентов статистическая обработка истинных величин (наличие/отсутствие ИВЛ, пневмонии, основной и сопутствующей патологии) была ограничена подсчетом абсолютных чисел и частоты встречаемости (n, %). Для статистической обработки суррогатных клинических исходов (SpO_2/FiO_2) использовали программу Microsoft Excel 2012: описание выполняли с помощью подсчета средних арифметических величин и стандартной ошибки среднего ($M+m$), для анализа различий между повторными наблюдениями применен t-критерий Стьюдента для парных выборок. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В начале исследования возраст пациентов в группах был сопоставим: в основной $63,83 \pm 5,71$, в контрольной $65,33 \pm 5,66$ лет ($p < 0,05$). Имелись межгрупповые различия по полу: в основной группе было 2 мужчины и 4 женщины, а в контрольной – 4 мужчины и 2 женщины. Однако для начального сравнения методов коррекции неоднородности легких при ВАП половая принадлежность пациента не играла принципиальной роли, поскольку, как показали масштабные исследования, в течении ВАП существенных гендерных различий нет. К тому же свободный круглосуточный прием экстренных пациентов в ОРИТ не позволял соблюдать жесткую стандартизацию групп по основным характеристикам, что возможно при плановой работе. Эта особенность исследований в условиях экстренной помощи многократно отмечалась учеными медицины критических состояний [1, 6, 25].

По основной и сопутствующей патологии группы были сопоставимы. В обеих группах были пациенты со схожими основной (хирургический сепсис, тромбо-эмболическая патология, ХОБЛ с бронхоспастическим синдромом, эпилепсия с эпистатусом, постгипоксическая энцефалопатия)

и сопутствующей патологиями (ИБС, ГБ, АГ, пароксизмальная форма ФП, резидуальные явления ОНМК). По 3 пациента из группы до поступления в ОРИТ были прооперированы (50%), по 4 пациента имели коморбидную патологию (66,6%).

Все пациенты имели стойкую ДН и снижение оксигенирующей функции легких (ОФЛ), определяемой по $SpO_2/FiO_2 < 400$, однако не имели исходной пневмонии по рентгенографии при поступлении в стационар и по шкале CPIS в начале исследования (критерий включения). Средние исходные величины SpO_2/FiO_2 в начале исследования существенно не различались между группами: $323 \pm 6,09$ в основной и $328 \pm 7,17$ в контрольной ($p < 0,05$, табл. 3, рис. 1). Снижение оксигенации, компенсированное ИВЛ, было вызвано регионарными изменениями легких (ателектазы, гиповентиляция, умеренная диффузная инфильтрация), которые выявлялись на рентгенографии, могли сочетаться с трахеобронхитом, но не отвечали критериям ВАП и ОРДС.

Началу исследования предшествовало позиционирование на спине и боках и ИВЛ в среднем $36 \pm 3,34$ ч в основной и $39 \pm 2,8$ ч в контрольной группах, что не имело достоверных различий ($p < 0,05$) и создавало одинаковые предпосылки для развития ВАП.

Таким образом, исходно группы не имели достоверных различий по ОФЛ, при этом пневмония по шкале CPIS не диагностировалась (критерий включения). По возрасту, тяжести состояния и патологии группы также были в целом сопоставимы (табл. 1).

Влияние комбинированной КТ (ККТ) на ОФЛ в первые сутки исследования отражено в табл. 3 и на рис. 1. Наибольший вклад в повышение сатурации вносила позиция «на животе» с инфузией пропофола и нитроглицерина – рост показателя в основной группе составлял в среднем $8,2\%$ от $342 \pm 7,3$ на спине до $370 \pm 8,7$ на животе ($p < 0,05$). При этом SpO_2/FiO_2 вырастало в среднем на 21% за сутки от $323 \pm 11,2$ до $391 \pm 9,4$ ($p < 0,05$). Такие изменения повторялись ежедневно и способствовали скорейшей нормализации ОФЛ в основной группе по сравнению с контрольной (табл. 3, рис. 1).

В контрольной группе динамика SpO_2/FiO_2 была менее заметной: в течение первых суток в группе контроля не зафиксировано ни одного статистически значимого изменения показателя оксигенации, средний суточный рост SpO_2/FiO_2 от $328 \pm 9,2$ до 343 ± 11 составил $4,6\%$ против 21% в основной группе (табл. 3, рис. 1). Следовательно ККТ улучшала оксигенацию крови в 4,5 раза быстрее, а значит эффективней, чем традиционное лечение.

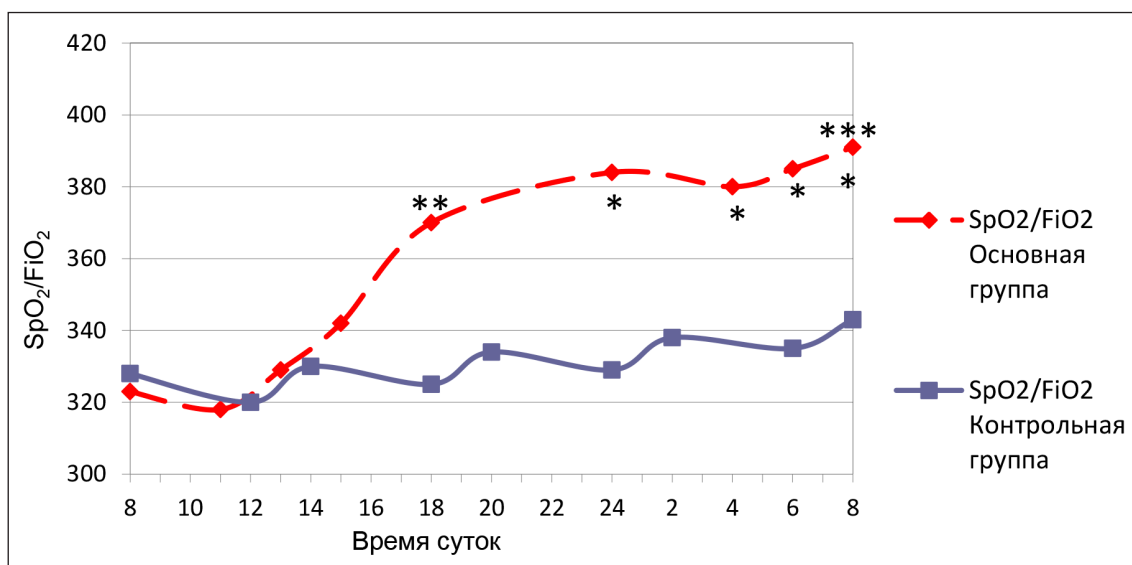


Рис. 1. Динамика SpO_2/FiO_2 в течение первых суток исследования в обеих группах ($M \pm m$)

Примечание. * – межгрупповые различия достоверны, $p < 0,05$;

** – различия с предыдущей позицией в пределах группы достоверны, $p < 0,05$;

*** – различия между начальной и конечной точками в течение суток в пределах группы достоверны, $p < 0,05$

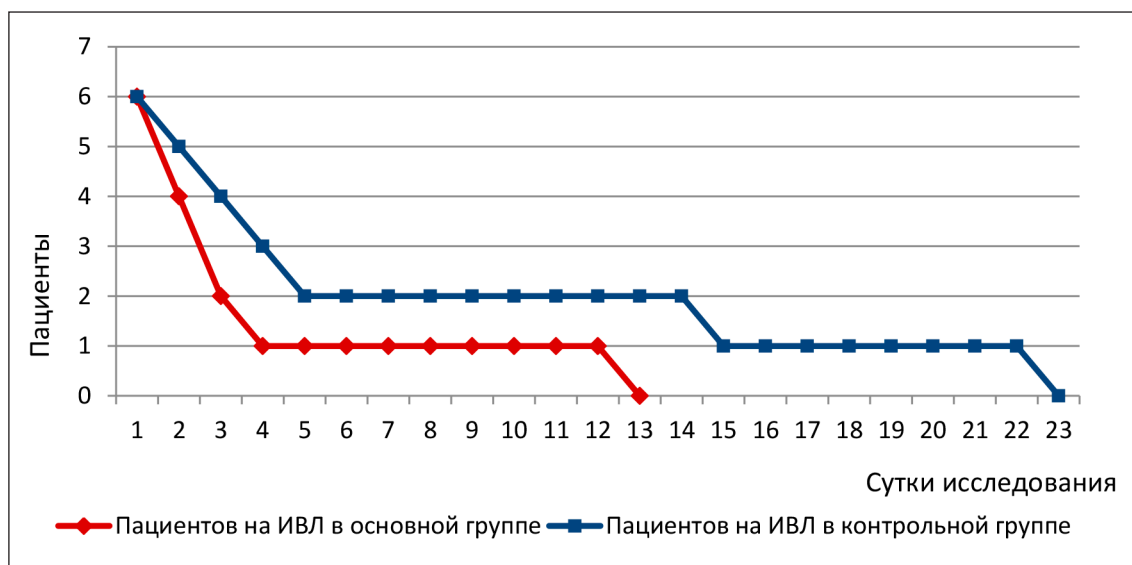


Рис. 2. Количество пациентов в исследуемых группах, находящихся на ИВЛ

Ускоренное восстановление ОФЛ закономерно отражалось на истинных клинических исходах: сроках ИВЛ, частоте и длительности пневмонии. Так, начиная со вторых суток исследования количество пациентов, отлученных от ИВЛ, преобладало в группе, где использовалась ККТ (табл. 4, рис. 2).

Динамика развития пневмонии в группах показала, что ВАП возникала в контрольной группе в 2 раза чаще: на 4-е сутки исследования у четырех пациентов диа-

гностировалась пневмония по шкале CPIS. В основной группе пневмония диагностировалась только у двух пациентов (табл. 4, рис. 3). Последующий мониторинг ВАП показал, что к 5-м суткам исследования она была купирована у всех пациентов основной группы, в то время как в контрольной сохранялась в двух случаях. Суммарная длительность протекания ВАП, диагностированная по CPIS за 10 суток исследования, в основной группе была короче в 3,1 раза (9 против 28 суток в контрольной, табл. 4).

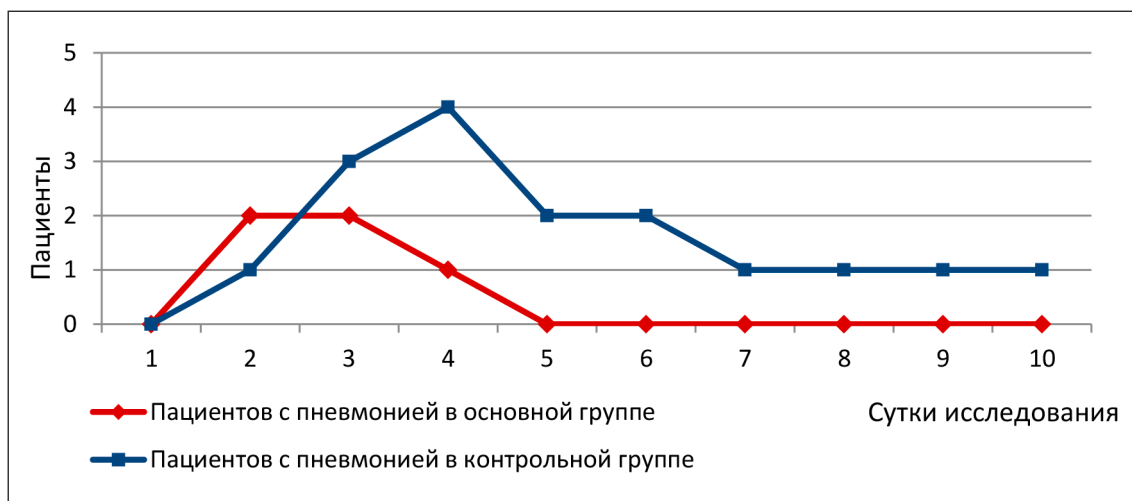


Рис. 3. Количество пациентов в исследуемых группах, у которых диагностирована ВАП

Таблица 4

Количество пациентов в исследуемых группах, находящихся на ИВЛ, и суток, проведенных на ИВЛ, количество пациентов с ВАП и суток, в течение которых диагностировалась ВАП

Сутки исследования	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10–22	Всего
Сутки на ИВЛ с момента интубации	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–24	
Пациентов на ИВЛ, основная группа	6	4	2	1	1	1	1	1	1	1	6
Пациентов на ИВЛ, контрольная группа	6	5	4	3	2	2	2	2	2	2	6
Основная группа, суток на ИВЛ		3+3	4+4	5						12	31
Контрольная группа, суток на ИВЛ		3	4	5	6					14+23	55
Пациентов с пневмонией, основная группа	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	2
Пациентов с пневмонией, контрольная группа	0	1	3	4	2	2	1	1	1	1	4
Сроки ВАП, основная группа				4	5						9
Сроки ВАП, контрольная группа					5+5		7			11	28

Более интенсивная положительная динамика как по срокам ИВЛ, так и по частоте развития пневмонии продолжалась в основной группе все последующие сутки до окончания исследования, что отражено в табл. 4. В итоге пациенты основной группы суммарно находились на ИВЛ 31 сутки, а пациенты контрольной – 55 суток (табл. 4, рис. 3). То есть под действием ККТ происходило снижение сроков ИВЛ в 1,8 раза – наиболее ценный истинный исход лечебного воздействия.

Таким образом, способ профилактики и лечения ВАП снижает частоту ее развития в 2 раза, длительность течения – в 3,1 раза, сроки проведения ИВЛ – в 1,8 раза.

Пилотное исследование посвящено оценке способа коррекции четырех факторов патогенеза ВАП в процессе лечения выживших пациентов: 1) гравитационного фактора повреждения легких в результате неподвижности; 2) воздействия ИВЛ методом вдвухания; 3) регионарной гипоксии или гипероксии на фоне нарушения механизмов гипоксической вазоконстрикции; 4) неравномерность распределения АБП и микрофлоры в легких.

Чтобы устранить воздействие данных факторов, использовали ККТ – повороты пациента на 90 и 180° 8 раз в сутки (сумма углов поворотов 1080°/сут) с поочередным внутривенным введением в проп-позиции проп-ола, нитроглицерина, АБП.

Применение способа профилактики и лечения ВАП (комбинированной КТ), направленного на устранение регионарной внутрилегочной неравномерности распределения вентиляции, перфузии, микрофлоры и антибактериальных препаратов, имело многоплановый эффект: 1) наблюдался быстрый рост ОФЛ во время и после переворота на живот и после суточного цикла кинетической терапии; 2) ускорялся процесс отлучения от респиратора; 3) профилактировалась либо разрешалась ВАП.

Быстрый значимый рост оксигенации после переворота на живот, а затем после возвращения из положения «на животе» в положение «на спине» ранее был многократно описан в публикациях, касающихся КТ и ее самого эффективного компонента – прон-позиции [36, 37]. В основе улучшения оксигенации в ходе КТ лежит нормализация исходно нарушенных вентиляционно-перфузионных отношений, а именно: снижение вено-артериального шунтирования и дыхательного мертвого пространства, увеличение жизненной емкости легких за счет устранения инфильтрации, дорзальных ателектазов и гиповентиляции [24, 38]. Восстановление вентиляции в отечных и ателектазированных участках легких в процессе КТ помимо увеличения оксигенации способствует подавлению анаэробных микроорганизмов в ранее невентилируемых альвеолах и бронхиолах [11, 22].

Инфузия пропофола до и во время переворота на живот за счет миорелаксирующего и сосудорасширяющего действий также способствовала росту оксигенации. Этот синергетический эффект КТ и пропофола ранее был описан при лечении ОРДС. Гипнотик имеет выгодные для ККТ ВАП свойства: 1) улучшает газообмен в легких за счет вазодилатации сосудов легких, расслабляющего действия на дыхательные скелетные мышцы и гладкую мускулатуру дыхательных путей, что выгодно для проведения ИВЛ и КТ; 2) нормализует гипердинамическую реакцию центральной гемодинамики за счет ваготонии и вазодилатации, центрального торможения симпато-адреналовой импульсации; 3) предполагается, что пропофол восстанавливает сосудистую реактивность, в том числе реактивность к гипоксемии – гипоксическую вазоконстрикцию; 4) облегчает процесс отлучения больного от аппарата ИВЛ за счет хорошей управляемости седацией, отсутствия вредных побочных влияний на психику и за счет положительного влияния на газообмен, является лучшим седативным средством отлучения больного от респиратора; 5) обладает антиоксидантными свойствами; 6) улуч-

шает раннее энтеральное питание за счет противорвотного действия, ваготонии, симпато-адреналового торможения [5, 25].

Вторым инфузионным компонентом ККТ является нитроглицерин – венодилатирующее средство из группы нитратов [31]. Введение нитроглицерина, так же как и пропофола, сопровождается улучшением бронхиальной проходимости. Это связано с тем, что нитраты оказывают антиангинальное и спазмолитическое действие, расслабляют гладкую мускулатуру. При внутривенном введении нитроглицерин вызывает быстрое уменьшение преднагрузки на сердце за счет расширения периферических вен [12, 17]. При ИБС он способствует перераспределению коронарного кровотока в зоны ишемизированного миокарда. Уменьшая приток крови к правому предсердию, он способствует регрессу симптомов при отеке легких; снижает постнагрузку, потребность миокарда в кислороде (за счет снижения преднагрузки, постнагрузки и напряжения стенок желудочков в связи с уменьшением объема сердца). Вызывает расширение мозговых сосудов, чем объясняется головная боль при его применении [31]. Однако другой компонент способа профилактики и лечения ВАП, пропофол, нивелирует действие нитратов на мозг, так как уменьшает церебральный кровоток, внутричерепное давление, снижает церебральный метаболизм и устраняет головную боль.

Итак, пропофол и нитроглицерин, вводимые внутривенно, способствуют улучшению легочной перфузии и, следовательно, должны ускорять разрешение патологической легочной неоднородности и улучшать распределение АБП в тканях легких на фоне КТ. В прон-позиции улучшение легочной перфузии происходит в вентральных отделах, которые были плохо перфузируемыми на спине. Тут следует отметить, что вено-артериальный шунт может увеличиться, если легочная вазодилатация проводится без эффективного позиционирования больного.

Заключение

Включение в комплекс лечения длительно вентилируемых пациентов кинетической терапии, комбинированной с введением пропофола, нитроглицерина и антибактериальных препаратов, повышает эффективность терапии и профилактики ВАП за счет коррекции неоднородности легких. Данный способ профилактики и лечения ВАП снижает частоту ее развития в 2 раза, длительность течения – в 3,1 раза, сроки проведения ИВЛ – в 1,8 раза. В основе позитивного

влияния комбинированной КТ на патогенез ВАП у выживших пациентов лежит устранение патологической неоднородности вентиляционно-перфузионных отношений в легких, что подтверждается ускорением восстановления показателя ОФЛ $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ в 4,5 раза по сравнению с традиционным лечебным комплексом. Вторым возможным механизмом купирования пневмонии под действием ККТ может быть повышение эффективности АБТ за счет ускоренного внутрилегочного перераспределения АБП и микрофлоры. Проведенное пилотное исследование открывает перспективы для дальнейшего уточнения саногенетических механизмов, возникающих в процессе лечения ВАП, для поиска путей их стимуляции и поддержки.

Список литературы

1. Нозокомиальная пневмония у взрослых. Российские национальные рекомендации. М.: ООО Издательство «Медицинское информационное агентство». 2016. 176 с. ISBN 978-5-9986-0284-9.
2. Mourani P.M., Sontag M.K. Ventilator-Associated Pneumonia in Critically Ill Children: A New Paradigm // *Pediatr Clin North Am*. 2017. Vol. 64, Is. 5. P. 1039–1056. DOI: 10.1016/j.pcl.2017.06.005.
3. Langer M., Haeusler E.A. Ventilator associated pneumonia (VAP): an impossible diagnosis? Call for a pragmatic approach // *Minerva Anesthesiol*. 2009. Vol. 75, Is. 10. P. 584–590. PMID: 19798015.
4. Lisboa T., Rello J. Diagnosis of ventilator-associated pneumonia: is there a gold standard and a simple approach? // *Curr. Opin. Infect. Dis*. 2008. Vol. 21, Is. 2. P. 174–178. DOI: 10.1097/QCO.0b013e3282f55dd1.
5. Интенсивная терапия: национальное руководство в 2 т. Т. II. / Под ред. И.Б. Заболотских, Д.Н. Проценко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 1072 с. ISBN 978-5-9704-5018-5.
6. Kouroupis P.C., O'Rourke N., Kelly S., et al. Hospital-acquired bacterial pneumonia in critically ill patients: from research to clinical practice // *Expert Review of Anti-Infective Therapy*. 2024. Vol. 22, Is. 6. P. 423–433. DOI: 10.1080/14787210.2024.2354828.
7. Белобородов В.Б., Сеникин В.А. Нозокомиальная пневмония, связанная с искусственной вентиляцией легких: антибактериальная терапия короткими курсами // *Consilium Medicum*. 2017. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nozokomialnaya-pnevmoniya-svyazannaya-s-iskusstvennoy-ventilyatsiyey-legkih-antibakterialnaya-terapiya-korotkimi-kursami> (дата обращения: 17.08.2025).
8. Luyt C.E., Bouadma L., Morris A.C. et al. Pulmonary infections complicating ARDS. *Intensive Care Med*. 2020. Vol. 46, Is. 12. P. 2168–2183. DOI: 10.1007/s00134-020-06292-z.
9. Magill S.S., Fridkin S.K. Improving surveillance definitions for ventilator-associated pneumonia in an era of public reporting and performance measurement // *Clin. Infect. Dis*. 2012. Vol. 54, Is. 3. P. 378–380. DOI: 10.1093/cid/cir833.
10. Fernández-Barat L., López-Aladid R., Torres A. Reconsidering ventilator-associated pneumonia from a new dimension of the lung microbiome // *EBioMedicine*. 2020. Vol. 60. 102995. DOI: 10.1016/j.ebiom.2020.102995.
11. Cookson W.O.C.M., Moffatt M.F. In the Wrong Place at the Wrong Time: Microbial Misplacement and Acute Respiratory Distress Syndrome // *Am J Respir Crit Care Med*. 2020 Mar. Vol. 201, Is. 5. P. 506–507. DOI: 10.1164/rccm.202001-0004ED.
12. Luyt C.E., Brechot N., Combes A. et al. Delivering antibiotics to the lungs of patients with ventilator-associated pneumonia: An update // *Expert. Rev. Anti. Infect. Ther*. 2013. Vol. 11, Is. 5. P. 511–521. DOI: 10.1586/eri.13.36.
13. Кузьков В.В., Лапин К.С., Фот Е.В., Киров М.Ю. Вентилятор-ассоциированное повреждение легких в отделении интенсивной терапии и операционной – что нового? // *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2020. № 17 (5). С. 47–61. DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-5-47-61.
14. Чеченин М.Г., Волков А.М., Кудлай Д.А., Ильина В.Н., Орлова М.Н., Самойлова Л.М., Сучкова И.А. Распределение микрофлоры в легких как причина и следствие неэффективности антибактериальной терапии вентилятор-ассоциированной пневмонии // *Туберкулез и болезни легких*. 2016. № 5. С. 62–72. DOI: 10.21292/2075-1230-2016-94-5-62-72.
15. Bos L.D.J., Kalil A.C. Changes in lung microbiome do not explain the development of ventilator-associated pneumonia // *Intensive Care Med*. 2019. Vol. 45, Is. 8. P. 1133–1135. DOI: 10.1007/s00134-019-05691-1.
16. Zhang J., Yan W., Dong Y. et al. Early identification and diagnosis, pathophysiology, and treatment of sepsis-related acute lung injury: a narrative review // *J. Thorac. Dis*. 2024. Vol. 16, Is. 8. P. 5457–5476. DOI: 10.21037/jtd-24-1191.
17. Martin-Loeches I., Dickson R., Torres A. et al. The importance of airway and lung microbiome in the critically ill // *Crit Care*. 2020. Vol. 24, Is. 1. P. 537. DOI: 10.1186/s13054-020-03219-4.
18. Dickson R.P., Schultz M.J., van der Poll T. et al. Biomarker Analysis in Septic ICU Patients (BASIC) Consortium. Lung Microbiota Predict Clinical Outcomes in Critically Ill Patients // *Am J Respir Crit Care Med*. 2020. Vol. 201, Is. 5. P. 555–563. DOI: 10.1164/rccm.201907-1487OC.
19. Rotstein C., Evans G., Born A. et al. Clinical practice guidelines for hospital-acquired pneumonia and ventilator-associated pneumonia in adults // *Can. J. Infect. Dis. Med. Microbiol*. 2008. Vol. 19, Is. 1. P. 19–53. DOI: 10.1155/2008/593289.
20. Гайтон А.К., Холл Д.Э. Медицинская физиология. М., 2008. С. 540–558. ISBN 978-5-98657-013-6.
21. Kallander K., Burgess D.H., Qazi S.A. Early identification and treatment of pneumonia: a call to action // *Lancet Glob. Health*. 2016. Vol. 4, Is. 1. P. 12–13. DOI: 10.1016/S2214-109X(15)00272-7.
22. Ершов А.Л. Влияние выбора режима искусственной вентиляции легких на вероятность возникновения пневмонии (экспериментальное исследование) // *МЕДИАЙН. РУ. Том 8. Анестезиология. Реаниматология*, Июнь 2007. С. 422–444. URL: <https://medline.ru/public/art/tom8/art40.html> (дата обращения: 22.08.2025).
23. Pozuelo-Carrascosa D.P., Cobo-Cuenca A.I., Carmona-Torres J.M. Body position for preventing ventilator-associated pneumonia for critically ill patients: a systematic review and network meta-analysis // *J. Intensive Care*. 2022 Feb 22. Vol. 10 (1), Is. 9. DOI: 10.1186/s40560-022-00600-z.
24. Овсянников Р.Ю., Громова Т.А., Молошнев В.А., Коваленко А.Н., Лебединский К.М. Физика и физиология вентиляционно-перфузионного сопряжения: обоснование и начальный опыт выбора конечно-эспираторного давления при механической вентиляции легких // *Журнал технической физики*. 2022. Т. 92. Вып. 7. С. 1004–1017. DOI: 10.21883/JTF.2022.07.52658.27-22.
25. Марини Джон Дж., Уилер Артур П. Медицина критических состояний. М.: Медицина, 2002. С. 439–457. ISBN 5-225-00628-0. ISBN 0-683-05555-0.
26. Hutschala D., Skhirtladze K., Zuckermann A. et al. In vivo measurement of levofloxacin penetration into lung tissue after cardiac surgery. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2005. Vol. 49, Is. 12. P. 5107–5111. DOI: 10.1128/AAC.49.12.5107-5111.2005.
27. Чеченин М.Г., Воеводин С.В., Проничев Е.Ю., Шуливейстров Ю.В. Кинетическая терапия при остром респираторном дистресс-синдроме // *Анестезиология и реаниматология*. 2004. № 6. С. 8–12. PMID: 15717509.

28. Albert R.K. Prone Ventilation for Patients with Mild or Moderate Acute Respiratory Distress Syndrome. *Ann Am Thorac Soc.* 2020. Vol. 17, Is. 1. P. 24–29. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201906-456IP.
29. Rampon G.L., Simpson S.Q., Agrawal R. Prone Positioning for Acute Hypoxemic Respiratory Failure and ARDS: A Review. *Chest.* 2023. Vol. 163, Is. 2. P. 332–340. DOI: 10.1016/j.chest.2022.09.020.
30. Чеченин М.Г., Ломиворотов В.В., Полукаров А.Н., Борщикова Т.И. Диагностика нарушений оксигенации и торакопульмональной рестрикции во время респираторной поддержки с позиций нормальной и патологической физиологии // *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2013. Т. 17. № 3. С. 34–38. DOI: 10.21688/1681-3472-2013-3-34-38.
31. Нитроглицерин (концентрат для приготовления раствора для инфузий, 1 мг/мл), инструкция по медицинскому применению. РУ № ЛС-000605 от 27.06.2020.
32. Чеченин М.Г., Федоров К.К., Астраков С.В. Способ профилактики и лечения вентилятор-ассоциированной пневмонии // Патент РФ на изобретение 2531929 / № 2013145153; заявл. 08.10.13 г. опубл. 27.10.14 г. Бюл. № 30.
33. Fagon J.Y. Biological markers and diagnosis of ventilator-associated pneumonia // *Crit. Care.* 2011. Vol. 15, Is. 2. P. 130. DOI: 10.1186/cc10050.
34. Рекомендации. Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам. Версия 2024-02. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.antibiotic.ru/files/334/ocmap2024.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).
35. Fartoukh M., Maitre B, Honore S. et al. Diagnosing pneumonia during mechanical ventilation: the clinical pulmonary infection score revisited // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2003. Vol. 168, Is. 2. P. 173–179. DOI: 10.1164/rccm.200212-1449OC.
36. Ярошецкий А.И., Грицан А.И., Авдеев С.Н., Власенко А.В., Еременко А.А., Заболотских И.Б., Зильбер А.П., Киров М.Ю., Лебединский К.М., Лейдерман И.Н., Мазурок В.А., Николаенко Э.М., Проценко Д.Н., Солодов А.А. Диагностика и интенсивная терапия острого респираторного дистресс-синдрома // *Анестезиология и реаниматология.* 2020. № 2. С. 5–39. DOI: 10.17116/anaesthesiology20200215.
37. Accoce M., Dorado J.H., Cardoso G.P. et al. Does prone positioning decrease mechanical power in C-ARDS? // *Med Intensiva (Engl Ed).* 2023. Vol. 47, Is. 11. P. 671–674. DOI: 10.1016/j.medine.2023.07.015.
38. Setten M., Plotnikow G.A., Accoce M. Prone position in patients with acute respiratory distress syndrome // *Rev Bras Ter Intensiva.* 2016. Vol. 28, Is. 4. P. 452–462. DOI: 10.5935/0103-507X.20160066.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 618.14-006.363.03

**ЛЕЙОМИОМА МАТКИ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ
И СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ЛЕЧЕНИЯ****¹Третьякова Н.В., ²Рыскельдиева В.Т.**¹*Клиника «Эйва», Бишкек, e-mail: nafiska555@mail.ru;*²*Международная высшая школа медицины, Бишкек*

Несмотря на разнообразие имеющихся методов лечения самого распространенного в гинекологии заболевания – лейомиомы матки, проблема выбора наиболее эффективного и безопасного из них остаётся актуальной на сегодняшний день. Заболеваемость лейомиомой матки продолжает «молодеть» и увеличивает численность. В этих условиях одна из основных задач врачей-гинекологов – сохранить детородный орган. Целью данного исследования является обзор и анализ современных публикаций, которые могут помочь практическим врачам в понимании положительных и отрицательных сторон каждого из имеющихся методов и, соответственно, в выборе лечения с учетом желания пациенток. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что самым распространенным методом лечения лейомиомы матки является миомэктомия. Данный метод лечения проводился лапаротомным или лапароскопическим путями, и в дополнение к миомэктомии было медикаментозное лечение с использованием агонистов гонадотропин-релизинг гормона или селективных модуляторов прогестероновых рецепторов, последние из которых с каждым годом приобретают все большую популярность в Киргизской Республике. В настоящее время в Киргизии не имеется утвержденных клинических протоколов диагностики и методов лечения этой патологии, и возможно, что селективные модуляторы прогестероновых рецепторов могут впоследствии стать самостоятельным эффективным и безопасным методом лечения лейомиомы матки.

Ключевые слова: лейомиома, выжидательный метод, хирургические, малоинвазивные, медикаментозные и комбинированные методы лечения

**UTERINE LEIOMYOMA: PROBLEM STATE
AND MODERN THERAPEUTIC STRATEGY****¹Tretyakova N.V., ²Ryskeldieva V.T.**¹*«Eiva» clinic, Bishkek, e-mail: nafiska555@mail.ru;*²*International Higher School of medicine, Bishkek*

Despite the variety of available treatment methods for the most common disease in gynecology – uterine leiomyoma, the problem of choosing the most effective and safe of them continue to be relevant today. Uterine leiomyoma disease incidence is becoming “younger” and growing. One of the main tasks of doctors in these conditions is to preserve the reproductive organ. Purpose of the study – review and analysis of the modern literature will help practitioners to understand the positive and negative aspects of each of the available methods and, accordingly, in choosing treatment based on the desire of patients. The results of conducted study indicate that the most common treatment for uterine leiomyoma is myomectomy, performed by laparotomic or laparoscopic ways, and in addition to it, drug treatment using gonadotropin-releasing hormone agonists or selective progesterone receptor modulators, the latter of which are becoming more and more popular in the Kyrgyz Republic every year. In our country there are no approved clinical protocols for the diagnosis and treatment of this pathology. Selective progesterone receptor modulators are considered a promising approach in the treatment of uterine leiomyoma, with the potential to become an independent, effective, and safe therapeutic option.

Keywords: leiomyoma, expectative method, surgical, minimally invasive, drug and mixed methods of treatment

Введение

В Киргизской Республике официальные сведения о частоте заболеваемости миомой матки отмечаются лишь с 2011 года и свидетельствуют о ее росте. В 2011 году Республиканский медико-информационный центр Киргизской Республики отметил удельный вес заболеваемости миомой матки 14,1 на 100 000 населения, в 2017 году – 20,1 на 100 000 населения, а в 2019 – 30,0 на 100 000 населения [1]. Авторы предполагают гораздо более высокий уровень заболеваемости лейомиомой матки, учитывая ее бессимптомные формы, а также эт-

нические особенности киргизских женщин, которым характерно позднее обращение за медицинской помощью. В стране не имеется утвержденных клинических протоколов диагностики и методов лечения этой патологии, поэтому анализ мировых литературных источников, посвященных этой проблеме, возможно, поможет в выборе доступного и эффективного метода лечения лейомиомы матки.

Цель исследования – обзор и анализ современных публикаций, которые могут помочь практическим врачам в понимании положительных и отрицательных сторон

каждого из имеющихся методов и, соответственно, в выборе лечения с учетом желания пациенток.

Материалы и методы исследования

В процессе подготовки обзора научной литературы по данной проблеме было проанализировано более 60 работ за последние 30 лет и отобрано 49 источников, отвечающих основной задаче исследования. При поиске данной научной информации по вышеобозначенной теме проводили отбор соответствующих данных из ряда отечественных и зарубежных научных медицинских источников и учитывали информацию, содержащуюся в базах данных PubMed, Национальной электронной библиотеки и eLibrary.

Результаты исследования и их обсуждение

По данным авторов, частота лейомиомы матки варьирует в очень широком диапазоне – от 4,5% до 68,6% [2-4], причем многие указывают на то, что она недооценивается, так как только у части женщин имеются симптомы [5]. Авторы последних лет отмечают так называемое омоложение заболевания с пиком заболеваемости в 35–45 лет [6; 7]. В систематическом обзоре, опубликованном в 2015 году, отмечена частота миомы среди подростков от 15 до 18 лет – 0,4%, и оптимальное лечение в подростковом возрасте до сих пор не определено [7]. По крайней мере уже ни у кого не вызывает сомнений, что диагноз «миома» существенно «помолодел» и встречается у женщин до 30 лет.

Первопричина развития этой опухоли, равно как и всех новообразований, неизвестна, но, безусловно, достигнут выраженный прогресс в понимании ее патогенеза. В генезе заболевания практически все современные исследователи отмечают ведущую роль этнико-генетических факторов и выброса яичниковых гормонов [8]. Диагностика этого заболевания довольно проста – бимануальное исследование, сбор анамнеза и ультразвуковое исследование как «золотой стандарт». Наряду с этим имеются мнения о том, что уточняющим методом диагностики должна стать магнитно-резонансная томография. В 2012 году опубликована классификация FIGO, которая описывает 8 типов миомы, а также гибридный класс (сочетание двух типов миомы), так как различные типы миомы нередко развиваются одновременно (в зависимости от локализации). Классификация FIGO отражает распространение миомы в виде карты и наиболее распространена на сегодняшний день.

На сегодняшний день существует большое число методов лечения лейомиомы: выжидательный, хирургические, малоинвазивные, медикаментозные и комбинированные методы [9]. Учитывая, что более 50,0% опухолей не имеют симптомов, выжидательную тактику и наблюдение можно считать простейшим методом лечения, во время которого можно объяснить пациентке природу заболевания и проследить темпы и характер его развития. Хирургический метод лечения лейомиомы признан классическим и наиболее распространенным. Ранее при обнаружении опухоли выполнялась гистерэктомия, в результате которой женщина излечивалась в 100% случаев.

Позднее, когда появилась тенденция к «омоложению» опухоли, хирургическое лечение стало менее агрессивным, и в последние два десятилетия гинекологи стали отдавать предпочтение абдоминальной миомэктомии. В последние годы широкое распространение получила миомэктомия лапароскопическим доступом [10] и гистерорезектоскопия (для удаления субмукозных узлов). Необходимо также отметить лапароскопический криомиолиз и термокоагуляцию, которые имеют одну цель: уменьшение или подавление первичного кровоснабжения и индукцию уменьшения размеров миомы в результате дегенерации узлов, а также лапароскопическую окклюзию маточных артерий. Последние методы не получили такого широкого применения, как миомэктомия.

К числу малоинвазивных методов относится эмболизация маточных артерий (ЭМА) и высокочастотная фокусированная ультразвуковая хирургия под контролем МРТ (MRgFUS). Медикаментозные методы также насчитывают множество вариантов, основной целью которых является торможение роста или даже обратное развитие опухоли [11] за счет попытки, в частности гормональных препаратов, воспрепятствования стимулирующего воздействия эстрогенов и прогестерона [3]. К наиболее часто применяемым относятся препараты, не содержащие гормонов (нестероидные противовоспалительные препараты и транексамовая кислота) и гормональные средства (комбинированные оральные контрацептивы, оральные и инъекционные прогестагены, внутриматочная система, содержащая гестаген, агонисты гонадотропин-рилизинг гормона, селективные модуляторы прогестероновых рецепторов), хотя, по мнению некоторых авторов, гормональная терапия в качестве самостоятельного метода лечения миомы рассматриваться не должна [11],

так как не вылечивает заболевание, а отсрочивает его прогресс.

Комбинированные методы включают в себя сочетание медикаментозных и хирургических. Комбинированное лечение с использованием гормонов может являться предварительным этапом в подготовке к миомэктомии или в качестве восстановительных мероприятий после ее проведения [11]. В последние годы достигнут выраженный успех в медикаментозной терапии миомы матки, но, несмотря на это, хирургические методы лечения опухоли во многих странах, включая Киргизию, остаются основными, традиционными [12].

По мнению определенного числа авторов, до сегодняшнего дня в лечении лейомиомы лидирует гистерэктомия [13; 14]. В Индии гистерэктомия выполняется в 88,0% случаев, а в Бразилии при частоте лейомиомы 23,4% гистерэктомия выполняется в 8,4% случаев [15]. По результатам исследований, авторы не выявляют статистической разницы в частоте интра- и послеоперационных осложнений гистерэктомии и миомэктомии, называя гистерэктомию часто встречаемой, рутинной операцией с редкими серьезными осложнениями. В то же время они констатируют необходимость ухода от нее к менее инвазивным вмешательствам у женщин молодого возраста [16].

Большинство авторов все же склоняются к тому, что миомэктомия является безальтернативным методом лечения на этапе подготовки к беременности [17; 18] у молодых женщин. В исследовании, опубликованном в 2012 году, отмечено, что только миомэктомия является методом выбора в лечении лейомиомы матки до получения большего количества доказательств обратного [19]. Доступ при выполнении миомэктомии остается предметом дискуссий. По результатам систематического обзора, лапароскопическая миомэктомия связана со снижением болевого синдрома после операции, спайкообразования, температуры тела и более коротким периодом нахождения в стационаре в сравнении с открытой миомэктомией [20; 21]. В то же время имеются мнения о неблагоприятном термическом воздействии на матку при лапароскопической миомэктомии, что неблагоприятно сказывается на будущих беременностях и может угрожать разрывом беременной матки из-за наложения эндошва [21]. По данным авторов, процент беременности после миомэктомии может достигать 70,0%. По поводу воздействия гистерорезектоскопии и лапароскопической миомэктомии на функцию яичников установлен их одинаковый эффект, который наблюдается

в течение первых 6 месяцев после операции, после чего функция яичников полностью восстанавливается [22].

По поводу применения ЭМА на сегодняшний день нет убедительных доказательств. Несмотря на быстрое признание данного метода энтузиастами, степень внедрения ЭМА в мире значительно варьирует, а в Киргизской Республике не используется. Мнения по поводу этого метода можно назвать несмелыми и осторожными. Так, например, автор Спиридонова Н.В. сообщает, что при сравнении клинических исходов проведенного лечения через 5 месяцев наилучшие результаты были получены после миомэктомии в сравнении с ЭМА – 80% пациенток не предъявляли никаких жалоб, а после ЭМА отсутствие клинической симптоматики отмечали 55,3% пациенток. По данным систематического обзора, опубликованного в 2016 году, у пациентов в группе миомэктомии, напротив, отмечены более высокие риски осложнений, чем в группе ЭМА. Осложнения включали повреждение органов брюшной полости, экстренный переход из лапароскопической миомэктомии в открытую операцию, инфекцию, боль, кровопотерю или переливание крови. Среди пациентов, которые пытались забеременеть, пациенты в группе миомэктомии имели более высокую частоту беременности [23]. В основном авторы отмечают краткосрочный эффект ЭМА в виде уменьшения размера узлов более чем на 50,0% в первые 3 месяца после вмешательства. И все же в большинстве случаев для ЭМА нужны строгие показания, так как частота нежелательных эффектов (постэмболизационный синдром) выше, чем после миомэктомии.

Итак, ЭМА и MRgFUS предлагаются как малоинвазивные методы лечения лейомиомы с хорошими результатами [24]. При высокочастотной фокусированной ультразвуковой хирургии под контролем MPT (MRgFUS) в теории повреждение окружающих тканей является минимальным, однако в реальности исключить влияние на соседние структуры не представляется возможным, хотя этот метод можно считать перспективным, и он одобрен FDA (США). Большой процент успеха при проведении этой процедуры имеют женщины более старшего возраста с множественными миомами [25].

Из медикаментозных методов лечения негормональные препараты имеют очень ограниченное применение, так как всего лишь частично облегчают болевой симптом и кровотечения, не влияя на размер опухоли [3]. В современной терапии лейомиомы

комбинированные оральные контрацептивы (КОКи) чаще всего используются после миомэктомии в качестве реабилитационного и противорецидивного лечения. Эти препараты можно также использовать для облегчения симптомов, но они не влияют на размер опухоли и количество узлов [3; 26].

Для лечения лейомиомы матки используется и внутриматочная спираль, содержащая прогестерон (Мирена). Она тоже применяется для уменьшения кровотечений, но, как КОКи и НПВС, не влияет на размер и количество миоматозных узлов, кроме того, этот метод лечения не может быть применен у женщины с субмукозным расположением узла [27].

К числу прочих медикаментозных методов можно отнести применение витамина D и экстракта зеленого чая, а также интересный, на взгляд автора данного обзора, метод, разработанный исследователями Китая. По их мнению, статины, конкурентноспособные ингибиторы 3-гидрокси-3-метил-глутарил кофермента А-редуктазы, являясь противоопухолевыми препаратами, существенно снижают пролиферацию клеток миомы. Авторы предлагают использовать цитостатик аторвастатин для лечения миомы матки [28].

До недавнего времени из гормонального лечения активно применялся антипрогестероновый препарат мифепристон (RU-486), который был открыт в 1993 году. Ежедневный прием мифепристона в длительном режиме существенно снижает маточное кровотечение, но, так же как и вышеописанные препараты, не уменьшает размеры опухоли [29]. Он нарушает гистологическую структуру эндометрия, но механизм его действия на миому не до конца известен [3]. Рецепторы прогестерона имеются не только в матке, но и в других тканях организма, поэтому, по мнению некоторых авторов, его надо назначать с осторожностью [30], хотя имеются и противоположные сведения, рекомендуемые мифепристон в качестве метода лечения лейомиомы матки [31], особенно при малых размерах узлов [32].

По мнению автора Галиной Т.В. с соавт. [33], «золотым стандартом» лечения миомы на сегодняшний день до сих пор являются препараты из группы агонистов гонадотропин-релизинг гормона (аГнРГ). Их действие обусловлено резким увеличением синтеза ФСГ и ЛГ, в результате чего возникает состояние естественной менопаузы, продолжающейся при непрерывном введении препарата. Этот препарат не запускает процесс апоптоза и вызывает «приливы» и остеопороз, поэтому его следует назначать не более чем на 6 месяцев

в качестве предоперационной подготовки. Применение аГнРГ существенно снижает размер узлов [3], но не имеет значительного эффекта на интраоперационную кровопотерю, а по некоторым данным, даже увеличивает вероятность постинъекционного кровотечения из эндометрия по причине эффекта обострения [34]. С другой стороны, имеются сведения о том, что предоперационное применение аГнРГ увеличивает использование вагинальной гистерэктомии, снижает кровопотерю и укорачивает период нахождения в стационаре. Все авторы отмечают необходимость дальнейших исследований по целесообразности применения этого препарата.

И наконец, селективные модуляторы прогестероновых рецепторов (СМПР), являющиеся на сегодняшний день самыми применяемыми и обсуждаемыми препаратами в мире. Это синтетические вещества, оказывающие агонистический или антагонистический эффект на прогестероновые рецепторы, с их помощью становится возможным изменять прогестероновый путь. Это группа самых современных препаратов (улипристала ацетат), которые многие авторы называют новой клинической инновацией или даже новой эрой в истории лечения лейомиомы [35]. Сейчас уже необходимы исследования по определению места УПА в лечении лейомиомы: предоперационная подготовка, противорецидивное лечение или же самостоятельный метод.

Преимущество СМПР заключается в их избирательном, антипролиферативном, антифиброзном и проапоптотическом действии на клетки миомы, не затрагивающем здоровые миоциты [36]. Концентрация эстрадиола при их применении находится на уровне средних показателей фолликулярной фазы цикла, и нет менопаузальных симптомов [33]. Прогресс в исследовании действия УПА на эндометрий отличается быстротой и огромным количеством результатов. Еще в 2014 году можно было встретить мнения авторов о неполном понимании потенциала УПА и недостаточных знаниях в отношении риска рака эндометрия, молочной железы и эндометриоза. Очень важно, что в настоящее время уже доказан доброкачественный и обратимый характер индуцированных эффектов СМПР в отношении эндометрия, который подтвержден в Кокрановском систематическом обзоре [3; 30; 37], хотя в литературе можно встретить не менее современные данные авторов о малоизученности действия СМПР на эндометрий [38]. В любом случае УПА на сегодняшний день считается эффективным и длительным методом лечения лейо-

миомы матки любой локализации. Результаты самого большого рандомизированного исследования PEARL, проведенного в Латвии, подтверждают большое значение УПА в лечении лейомиомы. При терапии УПА в течение 12 месяцев не выявлено побочных эффектов [39].

Улипристала ацетат применяется с 2013 года, а в 2015 году он одобрен Европейской комиссией в качестве преоперативного лечения лейомиомы в дозе 5 мг [40]. В Российской Федерации он также зарегистрирован как препарат для предоперационной подготовки в дозировке 5 мг в течение 3 месяцев с проведением при необходимости повторного курса, а в рекомендациях NICE УПА указан в качестве метода лечения лейомиом размерами более 3 см и при тяжелых маточных кровотечениях даже до 4 курсов по 5 мг [41]. Предоперационная подготовка УПА улучшает условия выполнения миомэктомии в связи с быстрым прекращением кровотечения и уменьшенным объемом узлов опухоли. Этот препарат снижает менструальную кровопотерю, боли и вызывает временную аменорею. Применение УПА в течение 3 месяцев уменьшает размеры лейомиомы, повышает уровень гемоглобина до хирургического лечения, и у 1/3 пациентов этот эффект может оставаться до 9 месяцев [37; 42; 43]. Неэффективность УПА отмечена приблизительно в 25,0% случаев [34].

По мнению многих авторов, УПА должен стать самостоятельным методом лечения лейомиомы, а не только предоперационной подготовкой [17], особенно для женщин, желающих впоследствии забеременеть. Он может составить альтернативу хирургическому методу, так как имеет пролонгированный эффект с улучшением симптомов и качества жизни [18; 44; 45].

Таким образом, практически все гормональные препараты на сегодняшний день следует рассматривать как составляющую комбинированной терапии лейомиомы, причем большинство исследований касается в основном преоперативного применения медикаментозных средств, и лишь СМПР имеют потенциал стать самостоятельным лечением. В литературе обнаружены неоднозначные результаты по сравнению эффектов УПА и агНРГ. Одни авторы утверждают, что при сравнении УПА с агНРГ наблюдается снижение кровотечения, уменьшение размера опухоли, других симптомов миомы, но при применении УПА не наблюдается симптомов менопаузы и остеопороза, собственно, из-за которых и ограничено применение агНРГ [46], а другие – все эффекты этих

препаратов одинаковы, включая и симптомы климакса, и остеопороз.

Результаты проспективного рандомизированного исследования по сравнению эффектов УПА и мифепристона свидетельствуют в пользу мифепристона при миомах менее 3 см, а при миомах более 3 см – в пользу УПА в дозе 10 мг [32]. Однако на сегодняшний день нет исследований долгосрочного применения УПА в сравнении с миомэктомией. Проведение рандомизированных клинических исследований по оценке эффектов УПА с другими видами лечения повысило бы качество оказания медицинской помощи и, возможно, снизило бы стоимость лечения [5; 38]. Многие авторы отмечают необходимость перехода к индивидуальному подходу в лечении лейомиомы матки УПА [42].

В Киргизской Республике проведено лишь одно исследование лейомиомы матки, выполненное Аскеровым А.А. Оно посвящено выявлению особенностей репродуктивного здоровья пациенток с лейомиомой матки и этническим особенностям формирования опухоли у женщин Киргизии с учетом субэкстремальных климато-географических и социально-экономических условий [47].

В литературе крайне мало современных сведений, касающихся экономической эффективности применяемых методов лечения лейомиомы матки, хотя эта сторона лечения тоже имеет большое значение как для пациентов, так и для государств. В нескольких литературных источниках отмечены ежегодные затраты системы здравоохранения США на лечение лейомиомы матки, которые составляют от 2 до 34 миллиардов долларов [34; 48]. Авторы указывают на отсутствие соответствующей медико-экономической оценки различных методов лечения, выражая надежду на то, что с внедрением инновационных, альтернативных хирургическим, методов лечения лейомиомы появится еще и экономическая эффективность внедряемых технологий [34].

Все авторы пытаются систематизировать лечение в зависимости, к примеру, от возраста больной с предпочтением хирургического метода, в основном миомэктомии абдоминальным путем, или места расположения узлов (при субмукозной миоме показана гистерорезектоскопия). Проведение лапароскопической миомэктомии должно обсуждаться с больной, а для женщин с выраженным кровотечением больше показана ВМС с прогестероновым компонентом. По мнению авторов, в выборе лечения требуется подход, который определя-

ется возрастом, симптоматикой, размерами узлов, их локализацией, интенсивностью роста и желанием пациентки сохранить репродуктивную функцию [33; 40].

Общество акушеров-гинекологов Канады в 2015 году опубликовало руководство по ведению лейомиомы матки, в котором отмечено, что женщина вместе с врачом должны принимать решение о выборе метода лечения, и оно должно быть индивидуальным [49]. Протокол лечения этого заболевания с учетом всех новых возможностей попыталось создать также общество акушеров-гинекологов Испании. По мнению авторов, он позволяет персонифицировать лечение и снизить риск неоправданных вмешательств. По мнению авторов данного обзора, представленный протокол очень объемный, и в нем, так же как и во всех остальных руководствах и рекомендациях, выбор метода лечения зависит от множества факторов.

Заключение

Несмотря на многообразие современных методов лечения лейомиомы матки, авторы данного обзора не обнаружили единого алгоритма терапии. К тому же почти все обнаруженные руководства и статьи предлагают дифференцированный подход к лечению, но с дифференциацией, которую должен проводить врач при выборе лечения. Таким образом, исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что, при отсутствии системного подхода в выборе метода лечения, миомэктомия в сопровождении гормональных препаратов (комбинированный метод) на сегодняшний день является самым популярным методом лечения лейомиомы матки. Из гормональных препаратов наибольший потенциал имеют селективные модуляторы прогестероновых рецепторов (УПА). Именно им посвящено наибольшее количество работ, в которых указывается на необходимость дальнейших исследований их долгосрочных эффектов и определения места этих препаратов в лечении миомы матки. Возможно, что селективные модуляторы прогестероновых рецепторов могут впоследствии стать самостоятельным эффективным и безопасным методом лечения лейомиомы матки.

Список литературы

1. Центр электронного здравоохранения при Министерстве здравоохранения КР [Электронный ресурс]. URL: <https://cez.med.kg> (дата обращения: 23.04.2025).
2. Stewart E.A., Cookson C.L., Gandolfo R.A., Schulze-Rath R. Epidemiology of uterine fibroids: a systematic review // *BJOG*. 2017. Vol. 124(10). P. 1501–1512. DOI: 10.1111/1471-0528.14640. PMID: 28296146.
3. Аганезова Н.В. Современные возможности лекарственной терапии миомы матки // *Журнал акушерства и женских болезней*. 2016. Т. 65. № 3. С. 79–83. DOI: 10.17816/JOWD65379-83. URL: <https://journals.eco-vector.com/jowd/article/view/3544> (дата обращения: 23.03.2025).
4. Nafees S. Bano, Jafri M.A., Qamar A. Kazmi, Wajeeda Begum Z.A. Uterine Myoma Symptoms & Quality of Life // *J Gynecol Women's Health*. 2017. Vol. 4(1). № 555630. DOI: 10.19080/JGWH.2017.04.555630.
5. Vercellini P., Frattaruolo M.P. Uterine fibroids: from observational epidemiology to clinical management // *BJOG*. 2017. Vol. 124(10). № 1513. DOI: 10.1111/1471-0528.14730. PMID: 28498567.
6. Sara M. Drayer, William H. Catherino. Prevalence, morbidity, and current medical management of uterine leiomyomas // *International Journal of Gynecology & Obstetrics*. 2015. Vol. 131, Is. 2. P. 117–122. ISSN 0020-7292. DOI: 10.1016/j.ijgo.2015.04.051. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020729215004786> (дата обращения: 24.03.2025).
7. Moroni R.M., Vieira C.S., Ferriani R.A., Reis R.M., Nogueira A.A., Brito L.G. Presentation and treatment of uterine leiomyoma in adolescence: a systematic review // *BMC Womens Health*. 2015. Vol. 22. № 15. P. 4. DOI: 10.1186/s12905-015-0162-9. PMID: 25609056. PMCID: PMC4308853.
8. Botia C.P., Camarasa S.C., Baixauli F.R., Sanchez A.C. Uterine Fibroids: Understanding their Origins to Better Understand their Future Treatments // *J Tumor Res*. 2017. Vol. 3. Is. 3. № 1000130. URL: <https://www.longdom.org/open-access/uterine-fibroids-review-understanding-their-origins-to-better-understand-their-future-treatments-42568.html> (дата обращения: 12.03.2025).
9. El-Balat A., DeWilde R.L., Schmeil I., Tahmasbi-Rad M., Bogdanyova S., Fathi A., Becker S. Modern Myoma Treatment in the Last 20 Years: A Review of the Literature // *Biomed Res Int*. 2018. № 4593875. DOI: 10.1155/2018/4593875. PMID: 29789793. PMCID: PMC5896337.
10. Гончарова М.А., Петров Ю.А. Миома матки: современные направления хирургического лечения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 11. С. 70–74. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=12934> (дата обращения: 30.05.2025).
11. Шамарин С.В., Наумова И.В., Волкова И.Г. Миома (лейомиома) матки (литературный обзор) // *Многопрофильный стационар*. 2018. Т. V. № 2. С. 144–149. EDN: YQWKQP. ISSN: 2411-2771. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yqwkqp&ysclid=mbadw8me3q119696533> (дата обращения: 30.05.2025).
12. Singh S.S., Belland L., Leyland N., Riedemann V.S., Murji A. The past, present, and future of selective progesterone receptor modulators in the management of uterine fibroids // *Am J Obstet Gynecol*. 2018. Vol. 218(6). P. 563–572. DOI: 10.1016/j.ajog.2017.12.206. PMID: 29274830.
13. Кусевницкая М.Б., Денисова А.С., Андреева Н.Ю. Результаты комбинированного лечения миомы матки с использованием селективного модулятора рецепторов прогестерона // *Журнал акушерства и женских болезней*. 2017. Т. 66. Спецвыпуск. С. 117–119. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-kombinirovannogo-lecheniya-miomy-matki-s-ispolzovaniem-selektivnogo-modulyatora-retseptorov-progesterona> (дата обращения: 20.02.2025).
14. Khyade R.L., More R.M. Fibromyoma of the uterus and its surgical management // *International Journal of Reproduction, Contraception, Obstetrics and Gynecology*. 2017. Vol. 6(8). P. 3637–3640. DOI: 10.18203/2320-1770.ijrcog20173500.
15. Boclin K.L., Faerstein E. Prevalence of self-reported medical diagnosis of uterine leiomyomas in a Brazilian population: Demographic and socioeconomic patterns in the Pro-Saúde Study // *Rev Bras Epidemiol*. 2013. Vol. 16(2). P. 301–313. DOI: 10.1590/S1415-790X2013000200007.
16. Ulagammal A., Sanyal U. Comparison of risk of abdominal hysterectomy versus myomectomy in the man-

- agement of uterine fibroids-a comparative study // *Int J Reprod Contracept Obstet Gynecol* 2016. Vol. 5. P. 1345-1347. DOI: 10.18203/2320-1770.ijrcog20161285.
17. Попов А.А., Федоров А.А., Логинова Е.А., Барто Р.А. Выбор метода лечения миомы матки при бесплодии // *Акушерство и гинекология Санкт-Петербурга*. 2017. № 3. С. 42-45. EDN: ZXVKKF. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30792097> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.17513/spno.28884.
 18. Радынова С.Б., Кеняйкина А.Г., Абрамова С.В., Лодырева М.С. Исследование метаболических изменений у пациенток, перенесших гистерэктомию по поводу миомы матки // *Современные проблемы науки и образования*. 2019. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28884> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.17513/spno.28884.
 19. Sanne M. van der Kooij S.M., Ankum W.M., Hekamp W.J.K. Review of nonsurgical/minimally invasive treatments for uterine fibroids // *Current opinion in obstetrics & gynecology*. 2012. Vol. 24(6). P. 368-375. DOI: 10.1097/GCO.0b013e328359f10a.
 20. Bhav Chittawar P., Franik S., Pouwer A.W., Farquhar C. Minimally invasive surgical techniques versus open myomectomy for uterine fibroids // *Cochrane Database Syst Rev*. 2014. Vol. 10(10). № CD004638. DOI: 10.1002/14651858.CD004638.pub3. PMID: 25331441; PMCID: PMC10961732.
 21. Баширов Э.В., Некрасов А.С., Симовоник А.Н. Исходы малоинвазивных технологий лечения миомы матки // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27337> (дата обращения: 22.05.2025). DOI: 10.17513/spno.27337.
 22. Высоцкий М.М., Куранов И.И., Невзоров О.Б. Показатели репродуктивного здоровья после эндоскопических видов хирургического лечения миомы матки // *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2019. № 13(4). С. 297-304. DOI: 10.17749/2313-7347.2019.13.4.297-304. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-reproduktivnogo-zdorovya-posle-endoskopicheskikh-vidov-hirurgicheskogo-lecheniya-miomy-matki> (дата обращения: 10.04.2025).
 23. Chen S., Pitre E., Kaunelis D., Singh S. Uterine-Preserving Interventions for the Management of Symptomatic Uterine Fibroids: A Systematic Review of Clinical and Cost-Effectiveness. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2016. Jan:25. PMID: 26985555. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK350119/> (дата обращения: 26.05.2025).
 24. Patel A., Malik M., Britten J., Cox J., Catherino W.H. Alternative therapies in management of leiomyomas // *Fertil Steril*. 2014. Vol. 102(3). P. 649-55. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2014.07.008. PMID: 25106764.
 25. Gorny K.R., Borah B.J., Weaver A.L., Brown D., Woodrum D.A., Stewart E.A., Hesley G.K. Clinical predictors of successful magnetic resonance-guided focused ultrasound (MRgFUS) for uterine leiomyoma // *J Ther Ultrasound*. 2013. Vol. 1. Is. 15. DOI: 10.1186/2050-5736-1-15. PMID: 25512860; PMCID: PMC4265948.
 26. Marret H., Fritel X., Ouldamer L., Bendifallah S., Brun J.L., De Jesus I., Derrien J., Giraudet G., Kahn V., Koskas M., Legendre G., Lucot J.P., Niro J., Panel P., Pelage J.P., Fernandez H.; CNGOF (French College of Gynecology and Obstetrics). Therapeutic management of uterine fibroid tumors: updated French guidelines // *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2012. Vol. 165(2). P. 156-64. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2012.07.030. PMID: 22939241.
 27. Gupta R., Dewan R., Mittal P., Suri J., Dewan A., Bharti R. Role of levonorgestrel releasing intra-uterine system in the treatment of menorrhagia due to dysfunctional uterine bleeding and fibroid uterus // *Int J Reprod Contracept Obstet Gynecol [Internet]*. 2017. Vol. 4. № 3(3). P. 671-677. URL: <https://www.ijrcog.org/index.php/ijrcog/article/view/1025> (дата обращения: 26.05.2025).
 28. Shen Z., Li S., Sheng B., Shen Q., Sun L., Zhu H., Zhu X. The role of atorvastatin in suppressing tumor growth of uterine fibroids Shen, Z., Li, S., Sheng, B. et al. The role of atorvastatin in suppressing tumor growth of uterine fibroids // *J Transl Med*. 2018. Vol. 16(1). № 53. DOI: 10.1186/s12967-018-1430-x.
 29. Tristan M., Orozco L.J., Steed A., Ramirez-Morera A., Stone P. Mifepristone for uterine fibroids // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2012. Vol. 8. № CD007687. DOI: 10.1002/14651858.CD007687.pub2. PMID: 22895965; PMCID: PMC8212859.
 30. Murdoch M., Roberts M. Selective progesterone receptor modulators and their use within gynaecology // *The Obstetrician & Gynaecologist*. 2014. Vol. 16. P. 46-50. DOI: 10.1111/tog.12072.
 31. Логинова О.Н., Сонова М.М., Арсланян К.Н. Прогестерон и миома матки. Обзор литературы // *Пульс*. 2018. Т. 20, № 1. P. 92-98. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/progesteron-i-mioma-matki-obzor-literatury> (дата обращения: 22.04.2025).
 32. Ashish R. Kale. Comparison between Mifepristone and Ulipristal acetate as an alternative to surgical management of uterine fibroids (Leiomyoma) in symptomatic patients of reproductive age group in Asian population // *Int J Reprod Contracept Obstet Gynecol*. 2018. Vol. 7(1). P. 109-113. DOI: 10.18203/2320-1770.ijrcog20175528.
 33. Галина Т.В., Стыкин Я.О., Ермолова Н.П., Голикова Т.П. Рациональная фармакотерапия миомы матки в репродуктивном возрасте // *Вестник РУДН. Серия: Медицина*. 2016. № 2. С. 5. URL: https://journals.rudn.ru/medicine/article/view/3333/2787/ru_RU (дата обращения: 22.03.2025).
 34. Donnez J., Dolmans M.M. Uterine fibroid management: from the present to the future // *Human Reproduction Update*. 2016. P. 1-22. DOI: 10.1093/humupd/dmw023.
 35. Ali M., Al-Hendy A. Selective progesterone receptor modulators for fertility preservation in women with symptomatic uterine fibroids // *Biology of Reproduction*. 2017. № 97(3). C. 337-352. DOI: 10.1093/biolre/iox094.
 36. Плеханов А.Н., Шишкина Ю.С. Особенности состояния эндометрия на фоне предоперационной лекарственной подготовки больных миомой матки // *Ученые записки СПбГМУ им. Акад. И.П. Павлова*. 2016. Т. XXIII. № 1. С. 15-20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sostoyaniya-endometriya-na-fone-predoperatsionnoy-lekarstvennoy-podgotovki-bolnyh-miomoy-matki> (дата обращения: 20.04.2025).
 37. Murji A., Whitaker L., Chow T.L., Sobel M.L. Selective progesterone receptor modulators (SPRMs) for uterine fibroids // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017. Is. 4. Art. № CD010770. DOI: 10.1002/14651858.CD010770.pub2.
 38. Whitaker L.H.R., Murray A.A., Matthews R., Shaw G., Williams A.R.W., Saunders P.T.K., Critchley O.D. Selective progesterone receptor modulator (SPRM) ulipristal acetate (UPA) and its effect on the human endometrium // *Human Reproduction*. 2017. Vol. 32. № 3. P. 531-543. DOI: 10.1093/humrep/dew359.
 39. Стыкин Я.О., Галина Т.В. Перспективы использования современных методов лекарственной терапии миомы матки // *Вестник РУДН. Серия: Медицина*. 2016. № 2. С. 202-207. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-sovremennyh-metodov-lekarstvennoy-terapii-miomy-matki> (дата обращения: 30.05.2025).
 40. Woodhead N., Pounds R., Irani S., Pradhan P. Ulipristal acetate for uterine fibroids: 2 years of real world experience in a UK hospital // *J Obstet Gynaecol*. 2018 № 38(6). P. 813-817. DOI: 10.1080/01443615.2017.1405926. Epub 2018 Mar 12. PMID: 29526144.
 41. NICE guideline. NG88. Heavy menstrual bleeding: assessment and management. Published: 14 March 2018. Last updated: 24 May 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng88> (дата обращения: 17.06.2025). ISBN 978-1-4731-4168-1.

42. Беженарь В.Ф., Шевелева Т.С., Кондратьев А.А., Малушко А.В., Паластин М.В. Опыт применения долгосрочной интермиттирующей терапии улипристала ацетатом у пациенток с миомой матки и бесплодием // *Акушерство и гинекология Санкт-Петербурга*. 2017. № 2. С. 58-64. URL: <https://elpub.ru/elpub-article/spbakush/27?ysclid=me191cjjt583379223> (дата обращения: 11.05.2025). EDN: ZEUKTL.
43. Biglia N., Carinelli S., Maiorana A., D'Alonzo M., Lo Monte G., Marci R. Ulipristal acetate: a novel pharmacological approach for the treatment of uterine fibroids // *Drug Design, Development and Therapy*. 2014. № 8. P. 285–292. DOI: 10.2147/DDDT.S54565.
44. Piecak K., Milart P., Woźniakowska E., Paszkowski T. Ulipristal acetate as a treatment option for uterine fibroids // *Menopause Rev*. 2017. № 16(4). P. 133-136. DOI: 10.5114/pm.2017.72792.
45. Тихомиров А.Л. Современное медикаментозное лечение миомы матки – возможность избежать гистерэктомии и ее негативных последствий // *Медицинский алфавит*. 2017. № 2(10). С. 17-22. URL: <https://www.med-alphabet.com/jour/article/view/159> (дата обращения: 19.02.2025).
46. Lethaby A., Puscasiu L., Vollenhoven B. Pre-operative medical therapy before surgery for uterine fibroids // *Cochrane Database Syst Rev*. 2017. Vol. 11(11). № CD000547. DOI: 10.1002/14651858.CD000547.pub2. DOI: 10.1002/14651858.CD000547.pub3. PMID: 29139105; PMCID: PMC6486044.
47. Аскеров А.А. Репродуктивное здоровье женщин после миомэктомии // *Вестник КГМА им. И.К. Ахунбаева*. 2013. № 4(1). С. 142-144. URL: <https://vestnik.kgma.kg/index.php/vestnik/article/view/1519> (дата обращения: 12.02.2025).
48. Sabry M., Al-Hendy A. Medical Treatment of Uterine Leiomyoma // *Reproductive Sciences*. 2012. Vol. 19(4). P. 339-353. DOI: 10.1177/1933719111432867.
49. Vilos G.A., Allaire C., Laberge P.Y.cxd, Leyland N. The management of uterine leiomyomas // *J Obstet Gynaecol Can*. 2015. Vol. 37(2). P. 157-178. DOI: 10.1016/S1701-2163(15)30338-8.

СТАТЬИ

УДК 004.032.26:004.932

**ДИНАМИЧЕСКОЕ УХУДШЕНИЕ ДАННЫХ
КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**^{1, 2, 3}Ананченко И.В., ²Добровольский Д.К., ²Уруймагов Я.Г.¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург;²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, e-mail: ddk.dobr.dobr@mail.ru;³ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова», Санкт-Петербург

Рассматривается проблема устойчивости генеративных состязательных нейросетей при работе с зашумленными или искаженными входными данными, что существенно ограничивает их применение в реальных условиях. Для повышения надежности моделей предлагается использовать метод динамического ухудшения данных в процессе обучения, при котором изображения искажаются непосредственно во время подачи в нейросеть. Цель исследования – повышение устойчивости генеративно-состязательных сетей к искаженным и зашумленным входным данным путем внедрения механизма динамического ухудшения данных «на лету» в процессе обучения, оценка влияния рассматриваемого подхода на качество генерации и обобщающую способность моделей в условиях нестабильной входной среды. Рассмотрено применение различных типов искажений, таких как гауссовское размытие, шум, артефакты сжатия и уменьшение разрешения, начиная со 101-й итерации обучения. Модели сравнивались по метрикам качества – среднеквадратичной ошибке, пиковому отношению сигнала к шуму и структурному сходству. Эксперименты показали улучшение всех показателей: значение структурного сходства увеличилось более чем на 15%, среднеквадратичная ошибка уменьшилась, а отношение сигнала к шуму возросло, что свидетельствует о повышенной устойчивости модели к искажениям. Отмечено лучшее обобщение модели при работе с ранее не встречавшимися типами шумов, без существенного увеличения вычислительных затрат. Таким образом, динамическое ухудшение данных в процессе обучения может использоваться как инструмент повышения устойчивости генеративных нейросетей, что особенно важно для задач увеличения четкости и восстановления изображений в нестабильных условиях.

Ключевые слова: динамическое ухудшение данных, генерация изображений, устойчивость нейросетей**DYNAMIC DATA DEGRADATION AS A TOOL TO IMPROVE
THE STABILITY OF GENERATIVE-ADVERSARIAL NETWORKS**^{1, 2, 3}Ananchenko I.V., ²Dobrovolskiy D.K., ²Uruymagov Ya.G.¹Saint Petersburg National Research University of Information Technologies,
Mechanics and Optics, Saint Petersburg;²Saint Petersburg State Technological Institute (Technical University),
Saint Petersburg, e-mail: ddk.dobr.dobr@mail.ru;³Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg

The problem of the stability of generative adversarial neural networks when working with noisy or distorted input data is considered, which significantly limits their application in real-world conditions. To increase the reliability of models, it is proposed to use the method of dynamic data degradation during training, in which images are distorted directly during their submission to the neural network. The aim of the study is to increase the stability of generative adversarial networks to distorted and noisy input data by introducing a mechanism of dynamic data degradation “on the fly” during training, to evaluate the impact of the approach on the quality of generation and the generalization ability of models in an unstable input environment. The application of various types of distortions, such as Gaussian blur, noise, compression artifacts, and resolution reduction, was considered, starting from the 101st iteration of training. The models were compared using quality metrics: root mean square error, peak signal-to-noise ratio, and structural similarity. The experiments showed improvement in all indicators: the structural similarity value increased by more than fifteen percent, the root mean square error decreased, and the signal-to-noise ratio increased, indicating the model's increased resistance to distortions. The model showed better generalization when working with previously unencountered types of noise, without a significant increase in computational costs. Thus, dynamic data degradation during training can be used as a tool to increase the robustness of generative neural networks, which is especially important for tasks of increasing clarity and restoring images in unstable conditions.

Keywords: dynamic data degradation, image generation, stability of neural networks**Введение**

Генеративно-состязательные сети (GAN) показывают хорошие результаты в задачах генерации и восстановления визуальных

данных, но чувствительны к качеству обучающего набора [1, 2]. Нестабильность GAN при работе с зашумленными, искаженными или нетипичными входами су-

щественно ограничивает применимость моделей в реальных условиях [3]. Один из перспективных подходов к решению этой проблемы – динамическое ухудшение данных «на лету», при котором входные изображения подвергаются искусственным искажениям непосредственно в процессе обучения. Метод позволяет повысить устойчивость модели к шуму, артефактам и нестандартным ситуациям без необходимости расширения датасета.

Рассмотрим влияние on-the-fly деградации данных на устойчивость и обобщающую способность модели SRGAN, являющейся модификацией стандартной GAN, проанализируем типы применяемых искажений, архитектурные особенности обучаемых моделей и метрики оценки качества генерации [4]. Эксперименты показывают, что динамическое ухудшение обучающей выборки способствует формированию более адаптивных признаков, повышая стабильность и точность генерации в условиях деградированных входных данных [5]. Предложенный подход может быть полезен в задачах реставрации изображений, видеоапскейлинга и других направлениях, где важно обеспечение качества при работе с несовершенными данными.

Цель исследования – повышение устойчивости генеративно-сопоставительных сетей к искаженным и зашумленным входным данным путем внедрения механизма динамического ухудшения данных «на лету» в процессе обучения, оценка влияния рассматриваемого подхода на качество генерации и обобщающую способность моделей в условиях нестабильной входной среды.

Материалы и методы исследования

Разработана методика повышения устойчивости генеративно-сопоставительных сетей (GAN) за счет применения динамического ухудшения входных данных в процессе обучения. Предложенный подход реализован на базе модифицированной архитектуры ESRGAN, адаптированной для задач суперразрешения и восстановления изображений [6]. Основное внимание уделялось моделированию различных типов деградации, включая гауссовское размытие, шум, JPEG-артефакты и понижение разрешения (downscaling) [7, 8]. Деградация применялась к изображениям низкого разрешения (LR) в случайные моменты обучения, начиная с 100-й эпохи, что обеспечивало постепенное повышение устойчивости модели к разнообразным искажениям. В качестве обучающего набора использовался датасет DIV2K, содержащий 800 пар изображений

высокого (HR) и низкого (LR) разрешения. Все изображения масштабировались до размеров 1920×1080 (HR) и 480×270 (LR), нормализовались в диапазоне $[-1, 1]$ и подавались в модель батчами по 2 изображения [9]. Обучение осуществлялось с использованием фреймворка PyTorch и оптимизатора Adam с параметрами [10]:

$$\beta_1 = 0.9, \beta_2 = 0.99,$$

$$learning\ rate = 2 \times 10^{-4}.$$

Комбинированная функция потерь генератора [11]:

$$L_{total} = \lambda_1 L_{pixel} + \lambda_2 L_{perc} + \lambda_3 L_{GAN} + \lambda_4 L_{TV},$$

где

- средняя абсолютная ошибка (L1 loss),
- L_{perc} – перцептивная ошибка, вычисляемая на активациях модели VGG-19,
- сопоставительная потеря (LSGAN),
- Total Variation Loss, подавляющая артефакты.

Для оценки качества работы модели использовались метрики:

1. Среднеквадратичная ошибка (MSE) – метрика, измеряющая разницу между значениями пикселей исходного и обработанного изображений. Рассчитывается как среднее значение квадратов разницы между соответствующими пикселями изображений:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(I_{HR}^{(i)} - I_{GEN}^{(i)} \right)^2,$$

где I_{HR} – эталонное изображение, I_{GEN} – результат генерации, N – число пикселей.

Достаточно простая, но эффективная метрика, для которой чем меньше полученное значение, тем лучше результат. Однако эта оценка не всегда хорошо отражает восприятие человека, так как мелкие, не заметные глазу изменения могут сильно повлиять на конечный результат.

2. Пиковое отношение сигнал/шум (PSNR) – метрика, измеряющая отношение между максимальным возможным значением сигнала (яркости пикселей) и уровнем шума (разницей между исходным и обработанным изображением) [6].

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right),$$

где $MAX = 1.0$ для нормализованных изображений.

Чем выше полученное значение – тем лучше качество изображения. Но, как и в случае с MSE, PSNR не всегда коррелирует с человеческим восприятием.

3. Структурное сходство (SSIM) [6]:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)},$$

где μ , σ – средние и стандартные отклонения по яркости, σ_{xy} – ковариация, C_1 и C_2 – стабилизирующие константы.

Также использовались методы визуальной оценки и сохранения выходных изображений на различных этапах обучения для анализа качества генерации. Все эксперименты проводились с использованием ускорения на GPU и смешанной точности (AMP), что позволило значительно сократить время обучения при сохранении высокой точности вычислений.

Результаты исследования
и их обсуждение

Для оценки эффективности предлагаемого метода динамического ухудшения данных «на лету» проведены серии экспериментов, в которых сравнивались версии генеративно-состязательной сети, обученные с использованием деградации и без нее [12, 13]. В качестве контрольных данных использовались изображения из валидационного набора DIV2K, подвергавшиеся разнообразным искажениям, включая гауссовский шум, импульсный шум, размытие и JPEG-артефакты [14]. Результаты выполненных авторами экспериментов приведены в таблице и проиллюстрированы графиками (рис. 1–3).

Сравнение метрик

Эпоха	MSE		PSNR		SSIM	
	Без динамич. дегр.	С динамич. дегр.	Без динамич. дегр.	С динамич. дегр.	Без динамич. дегр.	С динамич. дегр.
50	0,0299	0,0297	23,9398	23,8477	0,4426	0,4479
75	0,0282	0,0281	24,0224	23,8870	0,4891	0,4922
100	0,0265	0,0294	24,9363	23,5025	0,5208	0,4606
125	0,0238	0,0217	25,0879	25,3604	0,5570	0,6055
150	0,0210	0,0176	25,7007	26,4130	0,6018	0,6922
175	0,0194	0,0139	26,1879	27,3653	0,6244	0,7364
200	0,0175	0,0103	25,8525	27,7281	0,6739	0,7887
225	0,0159	0,0070	26,5246	28,0187	0,7171	0,8472
250	0,0145	0,0066	27,1937	28,7353	0,7465	0,8619
275	0,0128	0,0057	27,4272	28,7841	0,7875	0,9183
300	0,0114	0,0053	27,5895	29,6268	0,8242	0,9659

Источник: составлено авторами.

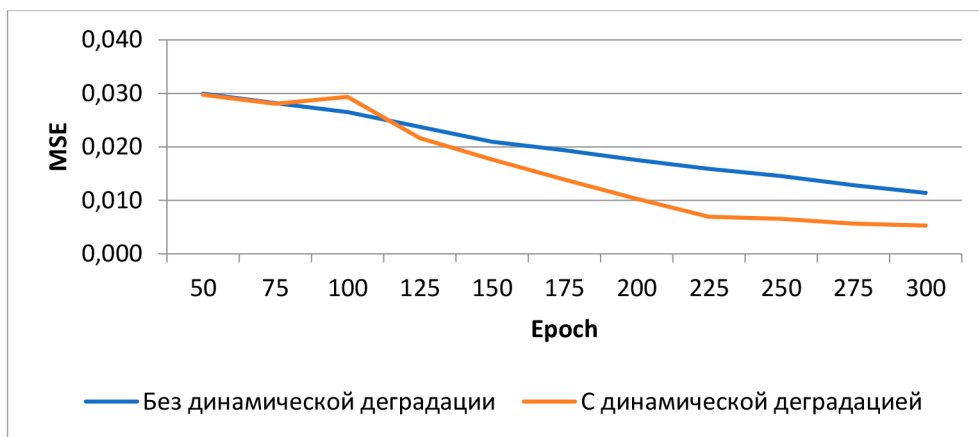


Рис. 1. График сравнения метрики MSE для моделей с динамической деградацией и без нее
Источник: составлено авторами

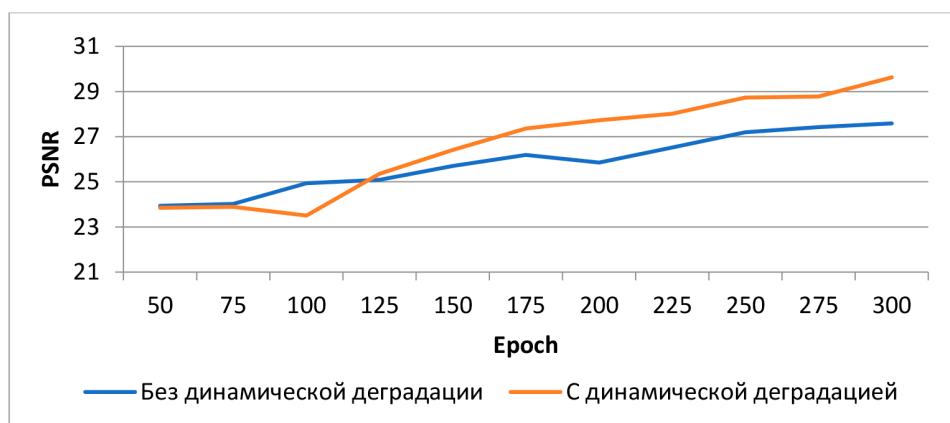


Рис. 2. График сравнения метрики PSNR для моделей с динамической деградацией и без нее
Источник: составлено авторами

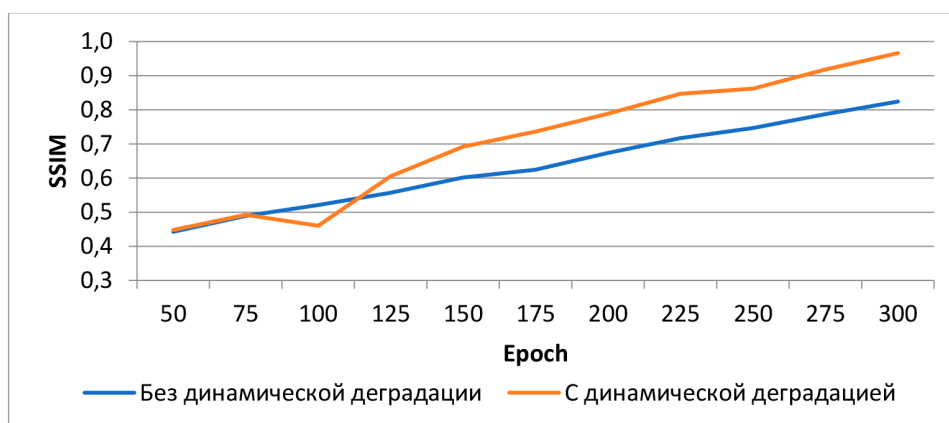


Рис. 3. График сравнения метрики SSIM для моделей с динамической деградацией и без нее
Источник: составлено авторами



Рис. 4. Исходное масштабированное изображение
Источник: взято из датасета DIV2K

Результаты экспериментов показали, что внедрение on-the-fly деградации повышает устойчивость модели к нестабильным входным данным. В частности, среднее значение метрики SSIM увеличилось на 15% по сравнению с базовой моделью, обученной на «чистых» данных. Также наблюдалось снижение значения MSE и рост PSNR, что свидетельствует о более точной реконструкции исходных изображений. Было выявлено, что модели, обученные с использованием деградации, демонстрируют лучшую генерализацию при работе с ранее не встречавшимися типами искажений, что проявляется в сохранении структуры и текстур изображения даже при значительных отклонениях от тренировочного распределения. На субъективном уровне результаты генерации таких моделей характеризуются более четкими границами объектов, снижением артефактов и меньшим визуальным шумом.



*Рис. 5. Изображения, восстановленные нейросетью, слева модель без деградации данных, справа – с деградацией
Источник: получено авторами в результате проведенного исследования*

Отметим, что эффект устойчивости не был достигнут ценой существенного роста вычислительной сложности. Благодаря постепенному включению ухудшений в ходе обучения (начиная с 100-й эпохи) модель имела возможность сначала выучить базовые закономерности, а затем адаптироваться к сложным условиям, что позволило избежать проблем переобучения и сохранить стабильность процесса оптимизации. С результатом работы моделей с деградацией данных и без ее использования можно ознакомиться на рис. 4–5.

Таким образом, предложенный подход на основе динамической деградации данных в процессе обучения подтверждает возможность использования на практике, как инструмент повышения устойчивости GAN к реальным искажениям. Метод может быть полезен в задачах, связанных с реставрацией, суперразрешением и генерацией изображений в нестабильных или ограниченных по качеству условиях [15]. Видится перспективным дальнейшее исследование по расширению использования рассмотренного подхода, включая его адаптацию к видео-данным и применению в мультимодальных генеративных архитектурах [16].

Заключение

Результаты проведенного исследования подтвердили эффективность метода динамического ухудшения данных «на лету» для повышения устойчивости генеративно-сопоставительных сетей. Введение искажений

в процессе обучения позволило добиться значимых улучшений по ключевым метрикам качества (MSE, PSNR, SSIM), что свидетельствует о более точной реконструкции изображений и снижении визуальных артефактов. При этом подход не потребовал существенного увеличения вычислительных ресурсов, благодаря поэтапному включению деградаций, начиная со 100-й эпохи обучения.

Особый интерес представляет выявленная способность моделей, обученных с деградацией, успешно обрабатывать ранее не встречавшиеся искажения, что указывает на рост обобщающей способности и адаптивности архитектуры. Это открывает перспективы применения метода в условиях ограниченного или нестабильного качества данных, таких как восстановление поврежденных изображений, апскейлинг в режиме реального времени и медицинская визуализация.

Таким образом, динамическое ухудшение данных может быть рекомендовано как надежный и универсальный механизм повышения устойчивости GAN в прикладных задачах. В дальнейшем представляется целесообразным расширение подхода на видеоформаты, а также исследование его эффективности в рамках мультимодальных генеративных моделей.

Список литературы

1. Ильинская Е.В., Голышева Е.Н., Медведев А.А., Масалитин Н.С. Применение генеративно-сопоставительных

нейросетей для генерации изображений // Научный результат. Информационные технологии. 2024. Т. 9. № 1. С. 73–78. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-8. EDN: CPJJA.

2. Zhang S., Qian Z., Huang K., Huang G., Shen C. Robust Generative Adversarial Network // Machine Learning. 2023. Vol. 112. P. 5135–5161. DOI: 10.1007/s10994-023-06367-0.

3. Raj S., Sharma P., Rani S. Generalized and Robust Model for GAN-Generated Image Detection // Pattern Recognition Letters. 2024. Vol. 182. P. 104–112. DOI: 10.1016/j.patrec.2024.04.018.

4. Yang Y., Liu X., Zheng Q. Conditional Dual-Branch Attention GAN for Sonar Image Generation under Noise // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, Is. 13. Article 7212. DOI: 10.3390/app15137212.

5. Qu C., Chen X., Xu Q., Han J. Frequency-Aware Degradation Modeling for Real-World Thermal Image Super-Resolution // Entropy. 2024. Vol. 26, Is. 209. DOI: 10.3390/e26030209.

6. Никин В.В., Гарина С.В. Обзор методов и средств оценки качества кадров в видео-файле // International journal of professional science. 2020. № 11. С. 56–63. EDN: RPVVGR.

7. Zhang K., Zuo W., Chen Y., Meng D., Zhang L. Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising // IEEE Transactions on Image Processing. 2017. Vol. 26, Is. 7. P. 3142–3155. DOI: 10.1109/TIP.2017.2662206.

8. Lin H., Fan J., Zhang Y., Peng D. Generative adversarial image super-resolution network for multiple degradations // IET Image Process. 2020. Vol. 14, Is. 13. P. 4520–4527. DOI: 10.1049/iet-ipr.2020.1176.

9. Иванов А.И., Кубасов И.А., Самокутяев А.М. Тестирование больших нейронных сетей на малых выборках // На-

дежность и качество сложных систем. 2021. № 1 (33). С. 49–56. DOI: 10.21685/2307-4205-2021-1-5. EDN: NNTIBS.

10. Артемьев Б.В., Власов А.И., Исроилов Ж.О., Мухомолов С. Анализ программных библиотек для разработки встраиваемых нейросетевых приложений // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2023. Т. 25. № 6. С. 5–12. DOI: 10.18127/j19998554-202306-01. EDN: BVEASU.

11. Zhao H., Gallo O., Frosio I., Kautz J. Loss Functions for Image Restoration with Neural Networks // IEEE Transactions on Computational Imaging. 2017. Vol. 3, Is. 1. P. 47–57. DOI: 10.1109/TCI.2016.2644865.

12. Mahmoud G.M., El-Sayed M.E., Zidan M. GAN-Based Sperm-Inspired Pixel Imputation for Robust Image Reconstruction // Scientific Reports. 2025. Vol. 14. Article 82242. DOI: 10.1038/s41598-024-82242-9.

13. Zhang W., Cui S., Lin Z., Hu W. Hierarchical Feature Fusion and Enhanced Attention Mechanism for Robust GAN-Generated Image Detection // Mathematics. 2025. Vol. 13, Is. 9. Article 1372. DOI: 10.3390/math13091372.

14. Zhu J., Ma C., Zhang Y., He X. A Survey on GAN Techniques for Data Augmentation in Small Datasets // Journal of Big Data. 2019. Vol. 6. Article 60. DOI: 10.1186/s40537-019-0197-0.

15. Sharma P., Kumar M., Sharma H.K. A Robust Ensemble Model for Deepfake Detection of GAN-Generated Images on Social Media // Discover Computing. 2025. Vol. 3, Is. 1. DOI: 10.1007/s10791-025-09538-w.

16. Wang J., Teng G., An P. Video Super-Resolution Based on Generative Adversarial Network and Edge Enhancement // Electronics. 2021. Vol. 10 (4). P. 459. DOI: 10.3390/electronics10040459.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЯ

Архиреева В.Д., Шарабаева Л.Ю.

*Северо-Западный институт управления филиал ФГБОУ ВО «Российская академия
народного хозяйства и государственной службы», Санкт-Петербург,
e-mail: sharabaeva-ly@ranepa.ru*

Цель исследования – разработка прототипа веб-приложения, которое позволит индивидуальным предпринимателям на маркетплейсах самостоятельно планировать, учитывать и анализировать свой доход. Актуальность разработки прототипа веб-приложения для самостоятельного планирования, учета и анализа дохода индивидуального предпринимателя на маркетплейсах объясняется ростом популярности маркетплейсов. Для индивидуальных предпринимателей, работающих на этих маркетплейсах, важно эффективно планировать, учитывать и анализировать свои доходы, чтобы эффективно управлять своим бизнесом. Для данного исследования использованы теоретические материалы, посвященные принципам электронной торговли на маркетплейсах, проектированию и разработке веб-приложений. Методы исследования: поиск, отбор и систематизация научных публикаций по теме работы, анкетирование, анализ и моделирование, обобщение. Приводятся результаты анкетирования пользователей для выявления приоритетных для них функций учета в работе на маркетплейсах. Сформулированы следующие выводы о целевой аудитории предметной области, касающиеся учета финансов предпринимателей по торговле товарами на маркетплейсах, необходимости разработки специализированной информационной системы для организации и учета деятельности по продажам и функциональности веб-приложения. На этапе проектирования приложения проведено моделирование при помощи одной из базовых объектных моделей – диаграммы деятельности. Построены целевые модели ключевых бизнес-процессов в графических нотациях. Разработаны функциональные требования для прототипа веб-приложения. Для разработки веб-приложения выбрана отечественная Low-Code-платформа Knowledge Space, которая предлагает инструменты для разработки и мощные средства для поддержки принятия обоснованных решений.

Ключевые слова: маркетплейс, индивидуальный предприниматель, проектирование и разработка, прототип веб-приложения, Low-Code-платформа

DESIGNING AND DEVELOPING A WEB APPLICATION FOR AN INDIVIDUAL ENTREPRENEUR

Arkhireeva V.D., Sharabaeva L.Yu.

*North-West Institute of Management of Russian Academy of National Economy
and Public Administration, Saint Petersburg, e-mail: sharabaeva-ly@ranepa.ru*

The purpose of the research is to develop a prototype web application that will allow individual entrepreneurs on marketplaces to independently plan, account for and analyze their income. The relevance of developing a prototype web application for self-planning, accounting and analysis of individual entrepreneur income on marketplaces is explained by the growing popularity of marketplaces. For individual entrepreneurs working on these marketplaces, it is important to effectively plan, account for and analyze their income in order to effectively manage their business. For this research, theoretical materials were used on the principles of e-commerce on marketplaces, design and development of web applications. Research methods: search, selection and systematization of scientific publications on the topic of the work, questionnaires, analysis and modeling, generalization. The results of a survey of users are presented to identify their priority accounting functions in working on marketplaces. The following conclusions are formulated about the target audience of the subject area concerning accounting for the finances of entrepreneurs trading goods on marketplaces, the need to develop a specialized information system for organizing and accounting for sales activities and the functionality of a web application. At the design stage of the application, modeling was carried out using one of the basic object models – an activity diagram. Target models of key business processes in graphical notations are constructed. Functional requirements for a prototype web application have been developed. The Russian Low-Code Knowledge Space platform has been selected for the development of the web application, which offers development tools and powerful tools to support informed decision-making.

Keywords: marketplace, individual entrepreneur, design and development, web application prototype, Low-Code platform

Введение

Рынок программного обеспечения для предпринимателей, работающих на маркетплейсах, представляет собой сложную многоуровневую экосистему, требующую детального анализа с точки зрения потребностей пользователей. Маркетплейсы

предоставляют уникальную возможность для взаимодействия между клиентом и продавцом, но для успеха на этих платформах критически важны аналитика и учет затрат и выручки с продаж [1; 2].

Разработка прототипа веб-приложения для самостоятельного планирования, учета

и анализа дохода индивидуальных предпринимателей (ИП) на маркетплейсах объясняется ростом популярности маркетплейсов. Кроме того, у ИП, работающих на маркетплейсах, могут быть сложности с учетом и анализом доходов из-за разнообразия источников и форматов данных. Приложение, которое автоматизирует этот процесс и предоставляет инструменты анализа, поможет предпринимателям в достоверном учете и эффективном анализе доходов.

В большинстве исследований, посвященных торговле на маркетплейсах, авторы уделяют внимание проблеме маркетинговой стратегии продажи различных товаров и выявления способов их продвижения [3; 4]. Отмечается, что маркетплейсы позволяют начинающим продавцам заявить о своем товаре сразу на большое и стабильное число посетителей, нежели интернет-магазин. Илья Островский в книге «Продажи на маркетплейсах и как это работает» [5, с. 76-98] на основе практического опыта сделал попытку сформировать базовые методики, инструменты и механизмы работы на маркетплейсах. Анализируя такие преимущества маркетплейсов, как повышение уровня занятости, развитие инновационной деятельности, решение социальных проблем, авторы работ [6; 7] указывают, что цифровые технологии позволяют повысить предпринимательскую активность и в условиях недостатка собственных средств предоставляют альтернативу для экономии расходов. Как стартапы для молодых начинающих предпринимателей, маркетплейсы представляют собой наиболее удобный инструмент. Ю.В. Зарубина обращает внимание, что маркетплейсы станут своего рода драйвером роста розничного товарооборота, они предоставляют покупателям широкий ассортимент товаров по низким ценам по сравнению с офлайн-торговлей [8]. Рынок интернет-товаров будет адаптирован под снижение покупательной способности населения, сможет нивелировать западные санкции, стимулировать ещё больше развитие отечественного производства. Возможности и риски, которые связаны с организацией электронной торговли, недостатки оценки качества товаров на рынках маркетплейсов рассматривают авторы В.А. Копкин, А.Д. Долгинов [9], Э.С. Тепикина [10], С.А. Котова [11].

Однако в трудах этих исследователей не рассматриваются специализированные информационные системы, которые ИП могли бы применять в своей работе. В значительной части все эти исследования охватывают только механизмы и методы ве-

дения бизнеса, не учитывая проблему планирования, учета и анализа дохода предпринимателей в работе с маркетплейсами, в том числе не рассматривая для этого применение различных веб-приложений.

Цель исследования – разработка прототипа веб-приложения, которое позволит индивидуальным предпринимателям на маркетплейсах самостоятельно планировать, учитывать и анализировать свой доход.

Материалы и методы исследования

Для данного исследования использованы теоретические материалы, посвященные принципам электронной торговли на маркетплейсах, проектированию и разработке веб-приложений. Методы исследования: поиск, отбор и систематизация научных публикаций по теме работы, анкетирование, анализ и моделирование, обобщение.

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения анализа целевой аудитории было проведено анкетирование индивидуальных предпринимателей в формате онлайн-опроса. Опрос включал восемь вопросов и был ориентирован на индивидуальных предпринимателей (ИП), зарегистрированных в г. Санкт-Петербург и Ленинградской области и работающих с различными платформами маркетплейсов. Количество опрошенных составило 49 человек. По полученным ответам можно сделать вывод о том, что более популярными маркетплейсами для продажи товаров являются Ozon и Wildberries, их выбрали 79,6% и 61,2% опрошенных соответственно. Менее популярными площадками для продажи стали Avito (28,6%) и «Яндекс Маркет» (22,4%), их выбрали предприниматели для реализации своей деятельности по торговле. Самой не популярной площадкой стал маркетплейс «Ярмарка Мастеров», на ней работает всего один человек из опрошенных, т.к. она является более узконаправленной по сравнению с другими предложенными маркетплейсами.

Данный результат продемонстрировал, что эффективнее начинать работу по разработке системы именно с маркетплейса Ozon, который имеет наибольшую популярность среди ИП и, следовательно, в будущем при необходимости развития будет доступен более широкому спектру потенциальных пользователей. Также участником опроса был задан вопрос с множественным выбором на выявление приоритетных для них функций учета в работе на маркетплейсах, ответы на него представлены в виде диаграммы на рисунке 1.

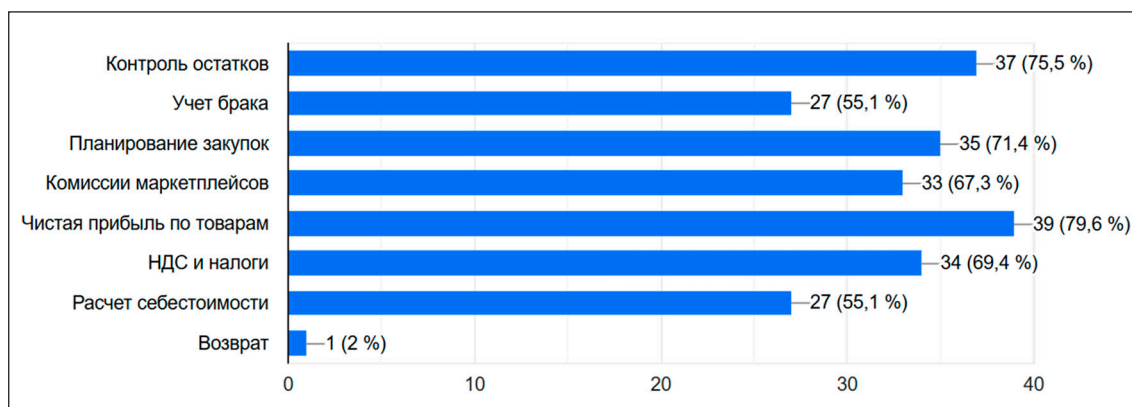


Рис. 1. Диаграмма распределения ответов на вопрос о приоритетных функциях учета в работе на маркетплейсах
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

При анализе диаграммы можно выделить три главные функции для учета работы предпринимателей: чистая прибыль по товарам (79,6%), контроль остатков (75,5%) и планирование закупок (71,4%) – именно данные функции стали приоритетными при разработке веб-приложения.

В целом, после проведения опроса и анализа получившихся ответов, были сформулированы следующие выводы о целевой аудитории предметной области:

- учет финансов предпринимателей по торговле товарами на маркетплейсах необходим в данной области и является актуальным;
- предприниматели нуждаются в специализированной информационной системе для организации и учета своей деятельности по продажам на маркетплейсах;
- веб-приложение для предпринимателей должно быть ориентировано как на финансовый учет (чистая прибыль, расчет себестоимости и др.), так и на управленческий (планирование закупок, контроль остатков и др.).

Таким образом, для реализации учета финансов ИП на маркетплейсе действительно необходимо разработать веб-приложение, обладающее удобным интерфейсом с необходимой навигацией и обеспечивающее функционал для первоначального учета финансов [12, с. 89; 13].

На этапе проектирования приложения целесообразно провести визуальное моделирование при помощи одной из базовых UML-моделей – диаграммы деятельности [14, с. 78]. Результат визуализации деятельности предпринимателя по загрузке информации в веб-приложение по реализованным продажам при помощи имеющегося файла выгрузки данных с маркетплейса представлен на рисунке 2. По результату построен-

ной диаграммы видно, что предприниматель может загрузить данные о выполненных продажах двумя способами: как вручную, заполняя данные соответствующей таблицы, так и при помощи импорта данных из файла Excel, где система сама автоматически добавляет данные в модель данных и соответствующие таблицы.

По диаграмме также видно, что при варианте загрузки данных через файл Excel предпринимателю необходимо загрузить в систему два файла, по разработанным для этих целей специальным шаблонам. Благодаря первому шаблону загружаются данные о выполненных заказах, а при помощи второго файла налаживаются связи между заказами и находящимися в них товарами.

Одним из главных ограничений данного разрабатываемого прототипа веб-приложения для учета финансов по продажам на маркетплейсах стало создание одного личного кабинета. Следующими ограничениями стали создание шаблонов импорта и экспорта данных на основе выгрузки данных маркетплейса Ozon и отсутствие выгрузки данных в формате ответов с типом данных *.doc, которые могли бы использоваться для сдачи налоговых деклараций. Было принято решение, что пользователю будут доступны данные в табличном формате, которые можно выгружать в соответствии с заданными фильтрами в формате Excel.

Основываясь на полученных данных о пользовательских потребностях – требованиях, специалисты разработали ряд функциональных требований для прототипа веб-приложения, которое позволит ИП на маркетплейсах самостоятельно планировать, учитывать и анализировать свой доход, включающий в себя следующие [15, с. 315]:

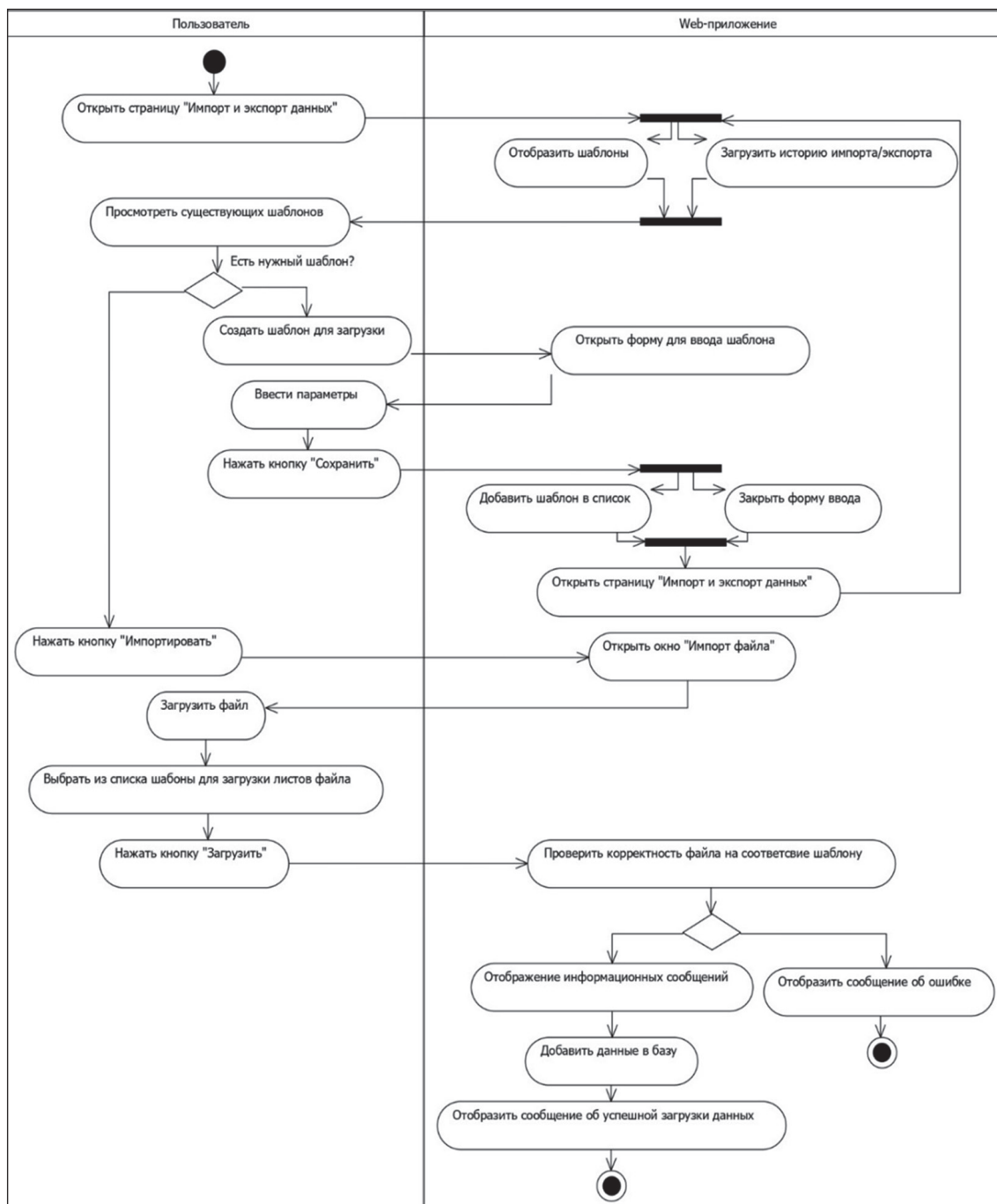


Рис. 2. Диаграмма деятельности предпринимателя при загрузке данных
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

1. Веб-приложение должно содержать в себе после авторизации такие страницы, как главная, учет закупок ИП, учет поставок ИП, учет товаров, учет налогов и прибыли, импорт-экспорт данных, печать, чаты, личный профиль.

2. Переключение по страницам веб-приложения должно происходить при помощи меню, располагающегося в виде вы-

падающего списка страниц с возможностью фиксирования.

3. При импорте и экспорте данных в системе пользователю должна быть доступна история загруженных и выгруженных файлов, включающая в себя дату загрузки/выгрузки, название и статус, показывающий отчет о проведенной операции с наличием комментариев об ошибках и предупреждениях.

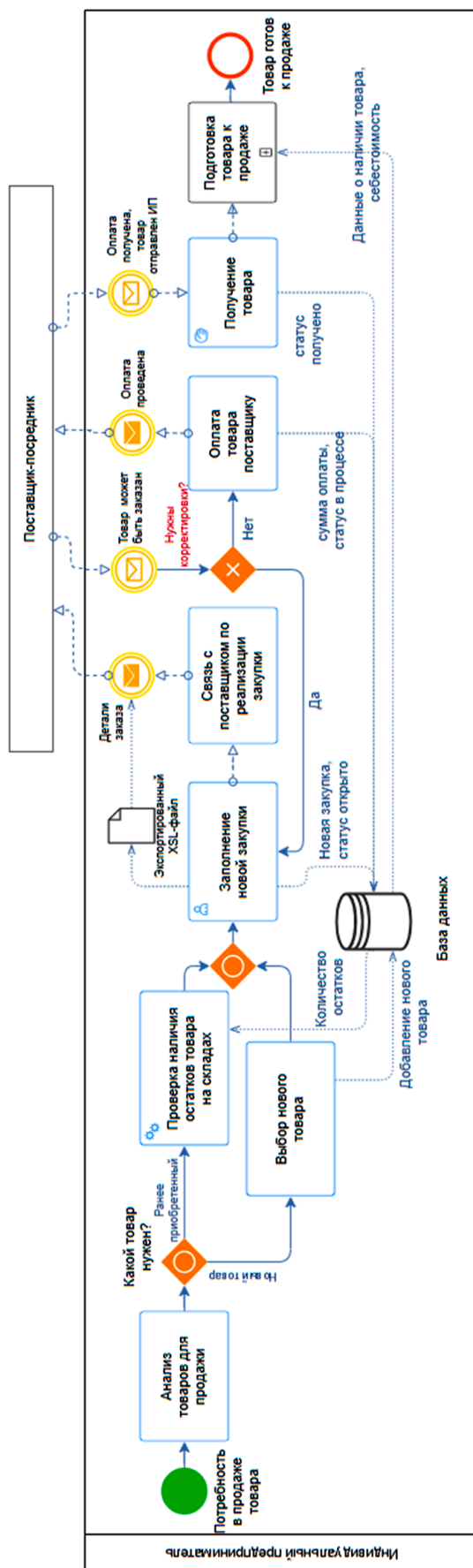


Рис. 3. Модель «ТО БЕ» бизнес-процесса оформления закупки товара
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

4. Пользователю должен быть доступен ввод данных о мероприятиях, товарах и заказах в таблицы при помощи ручного редактирования, а также при помощи функциональных кнопок, в результате нажатия на которые открываются модальные окна с заполнением информации о создаваемом объекте.

5. При изменениях данных в таблицах должен автоматически производиться перерасчет вычисляемых значений и обновление данных на страницах.

6. При выборе строки в таблице соответствующий объект должен передаваться в другие ячейки листа для отображения связанных с ним данных.

7. На каждой странице веб-приложения должна быть предусмотрена фильтрация по показателю или объекту в зависимости от блоков, присутствующих на странице.

8. Итоговые вычисляемые значения должны быть представлены на странице в виде виджетов, демонстрирующих итоговые значения с наименованием показателя и единиц измерения, автоматически обновляющиеся после добавления и изменения связанных с ними данных.

9. В пункте меню должна быть кнопка «Печать», при нажатии на которую производится формирование страницы в формате PDF с возможностью печати.

10. В пункте меню должна быть возможность для сохранения изменения размеров ячеек на странице, если пользователю доступна данная возможность, которая разрешает изменение размеров на странице приложения.

11. Каждая таблица системы должна иметь возможность регулирования ширины столбца и фильтрации по показателям.

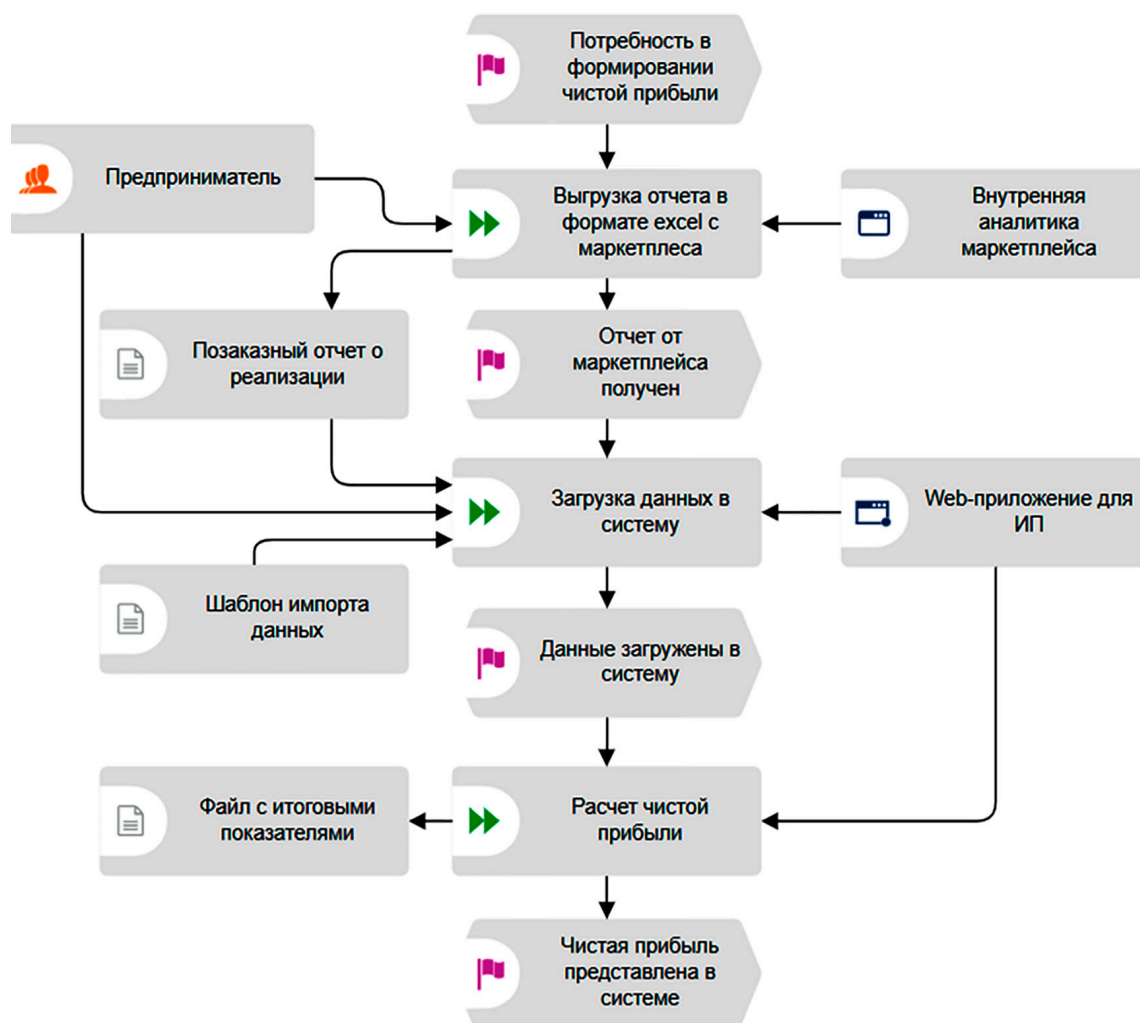


Рис. 4. Модель «ТО BE» расчета чистой прибыли
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

На рисунке 3 представлена модель «ТО ВЕ» в нотации BPMN, которая демонстрирует графическое представление состояния бизнес-процессов уже после всех процедур оптимизации и автоматизации [16]. На рисунке 4 EPC-модель демонстрирует, что ручных процессов стало меньше, пользователю нет необходимости постоянно пересчитывать товар перед заказом новой партии товара. Также важно отметить, что все данные по всем поставкам хранятся в базе данных и находятся в одной системе, где автоматически рассчитываются различные итоговые показатели.

Для разработки веб-приложения была выбрана отечественная Low-Code-платформа Knowledge Space, которая предлагает инструменты для разработки и мощные средства для поддержки принятия обоснованных решений. Knowledge Space использует микросервисную архитектуру с применением Open-source инфраструктурных компонентов [17]. Также данная платформа использует в своей работе функции, схожие с функциями Excel, что значительно облегчает работу над реализацией вычислительных показателей.

Есть множество инструментов для планирования и оптимизации бизнес-процессов, что позволяет пользователям сосредоточиться на развитии бизнеса, а не на технических деталях разработки.

Платформа представляет возможность работы как в Интернете, так и через различные операционные системы (Windows, MacOS, Linux), имея возможность открытия приложения через мобильные устройства. Knowledge Space поддерживает интегрированное планирование, что позволяет компаниям эффективно управлять своими ресурсами и быстро адаптироваться к изменениям на рынке.

Заключение

Разработанный прототип веб-приложения помогает индивидуальному предпринимателю организовать свою деятельность в проведении учета продаж, закупок и поставок, а также расчета прибыли, вести учет выплат, планировать и автоматизировать свою деятельность введения анализа и сократить время для определения ключевых показателей о деятельности на маркетплейсах.

Список литературы

1. Бобрушева В.В., Антонова Е.Г. Рынок маркетплейсов: состояние и тенденции // Управление социально-экономическими системами. 2023. № 1. С. 4–12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54216605> (дата обращения: 28.06.2025).
2. Куликова О.М., Суворова С.Д. Маркетплейс: бизнес-модель современной торговли // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2020. № 6 (48).

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/marketpleys-biznes-model-sovremennoy-torgovli> (дата обращения: 24.06.2025).

3. Челябинца В., Лизакова Р.А. Особенности продажи товаров на маркетплейсах // Умная цифровая экономика. 2022. № 3. С. 12–16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-prodazhi-tovarov-na-marketpleysah/viewer> (дата обращения: 24.06.2025).

4. Петрова А.В. Управление товарным ассортиментом на маркетплейсах // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 7 (101). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-tovarnym-assortimentom-na-marketpleysah> (дата обращения: 24.06.2025).

5. Островский И. Продажи на маркетплейсах и как это работает. М.: Капитал, 2022. 120 с. ISBN 978-5-907469-06-8.

6. Посохина А.В., Городилова М.А., Трапезникова Е.А. Развитие цифровой системы в сфере закупок (на примере Пермского края) // Экономическая среда. 2022. № 3 (41). С. 13–22. URL: <https://econenv.ranepa.ru/issues/2022/3/2.html?ysclid=mel7mhbzmu767460660> (дата обращения: 16.06.2025).

7. Туктарова Р.И., Дивина Т.В. Цифровая трансформация как приоритетное направление развития сферы услуг // Вестник ОрелГИЭТ. 2022. № 2 (60). С. 20–26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49528776> (дата обращения: 16.06.2025).

8. Зарубина Ю.В. Маркетплейсы как площадки для онлайн-торговли и адаптации малого и среднего бизнеса к неопределенности и санкциям // Вестник Ангартского государственного технического университета. 2022. № 16. С. 234–237. URL: <https://angtu.editorum.ru/ru/nauka/article/56125/view?ysclid=mdhdia4yhcl19089094> (дата обращения: 16.06.2025).

9. Копкин, В.А., Долгинов А.Д. Анализ рынка маркетплейсов и выбор наиболее подходящего сервиса для продажи товаров // Социально-экономические процессы современного общества: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Чебоксары, 25 мая 2023 года / Гл. редактор Э.В. Фомин. Чебоксары: ООО «ИД «Среда», 2023. С. 65–68.

10. Тепикина Э.С. Маркетплейсы: новые возможности и риски страхования // Вызовы глобализации и развитие цифрового общества в условиях новой реальности: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 22 мая 2023 года. Махачкала: АЛЮФ, 2023. С. 218–225.

11. Котова С.А. Особенности ведения бухгалтерского учета в условиях торговой деятельности на электронных площадках // Вестник науки. 2023. №11 (68). С. 81–89. URL: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/10583> (дата обращения: 22.06.2025).

12. Гаврилов Л.П. Цифровой бизнес: учебник и практикум для вузов. 6-е изд. М.: Юрайт, 2025. 311 с. ISBN 978-5-534-17869-2.

13. ТОП-10 программ для маркетплейсов: продажи, учет и автоматизация [Электронный ресурс]. URL: https://spb.lcb.it/blog/top-10-programm-dlya-marketpleys-ov-prodazhi-ucheti-i-avtomatizatsiya/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 25.06.2025).

14. Рамбо Дж. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. 2-е изд. / пер. с англ. СПб.: Питер, 2021. 544 с. ISBN 978-5-4461-9428-5.

15. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. Springer Berlin, Heidelberg. 2024. 372 с. ISBN 978-3-662-69518-0.

16. Лёвина А.И. Моделирование бизнес-процессов: учебное пособие. СПб., 2024. 76 с. URL: <https://elbib.spbstu.ru/dl/5/tr/2024/tr24-137.pdf/download/tr24-137.pdf> (дата обращения: 24.06.2025).

17. Мосеева Ю.А., Шарабаева Л.Ю. Автоматизация бизнес-процессов управления проектами на основе платформы Knowledge Space // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2024. Т. 21. № 12. С. 53–59. DOI: 10.14489/vkit.2024.12.pp.053-059. URL: <https://vkit.ru/index.php/archive-rus/1391-053-059> (дата обращения: 23.06.2025).

УДК 504.064.2.001.18

ТЕХНОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ

Цыганков Д.А.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет НЭТИ»,
Новосибирск, e-mail: worldwidemail@yandex.ru

В работе рассматривается актуальная проблема сокращения экологической опасности хозяйственной деятельности человека, связанной со складированием отходов обогащения каменного угля в отвал. Цель работы – разработка рекомендаций по минимизации воздействия отвала отходов обогащения каменного угля на окружающую среду после его технического перевооружения. Для этого оценено состояние окружающей среды в районе ведения горных работ, разработана технология ведения отвальных работ, снижающая загрязнение воздушной среды, внесены предложения по безопасному обращению с отходами, образующимися в периоды технического перевооружения и последующей эксплуатации данного производственного объекта. Для решения задач использовались такие методы, как аналоговый, списка, матриц, причинно-следственных связей, оценки рисков и вычислительный. Расчеты программным комплексом «Эра» подтвердили, что при ведении отвальных работ концентрации всех загрязняющих веществ в контрольных точках (за исключением азота диоксида, углерода оксида и пыли неорганической) не превышают допустимых пределов. Предлагаемая технология ведения отвальных работ предусматривает укладку отходов обогащения каменного угля слоями толщиной 0,5 м и их последующее уплотнение бульдозерами в два-четыре прохода. Покрытие каждого пятого слоя отходов обогащения каменного угля с целью профилактики возгорания его остатков осуществляется негорючими материалами слоями мощностью 0,3 м. Рекультивация нерасклеванных отходов отвала предусматривает укладку на них изолирующих слоев мощностью 0,5 м, состоящих из суглинков или золошлаковых отходов котельных установок. Внедрение предлагаемой технологии снизит загрязнение атмосферного воздуха в среднем на 18,41 %, а платежи за загрязнение воздушной среды – на 7,09 % ежегодно. Воздействие отвальных работ, проводимых по предлагаемой технологии, не окажет сверхнормативного воздействия на водные и земельные ресурсы, а образующиеся отходы будут передаваться специализированным организациям для дальнейшего обращения.

Ключевые слова: технология, экологическая безопасность, отходы, обогащение, загрязнение, окружающая среда

TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTALLY SAFE STORAGE OF COAL BENEFICIATION WASTE

Tsygankov D.A.

Novosibirsk State Technical University NETI, Novosibirsk, e-mail: worldwidemail@yandex.ru

The work relates to the urgent problem of reducing the environmental hazard of human economic activity associated with the storage of coal enrichment waste in a dump. The objective of the work is to develop recommendations for minimizing the impact of a coal enrichment waste dump on the environment after its technical re-equipment. For this purpose, the state of the environment in the area of mining operations was assessed, a technology for dumping operations was developed that reduces air pollution, proposals were made for safe handling of waste generated during technical re-equipment and subsequent operation of this production facility. To solve the problems, such methods as analog, list, matrix, cause-and-effect relationships, risk assessment and computational were used. Calculations using the Era software package confirmed that when dumping operations are carried out, the concentrations of all pollutants at control points except for nitrogen dioxide, carbon monoxide and inorganic dust do not exceed permissible limits. The proposed technology for waste disposal operations involves laying coal enrichment waste in 0.5 m thick layers and then compacting it with bulldozers in two to four passes. Every fifth layer of coal enrichment waste is covered with non-combustible materials in 0.3 m thick layers to prevent combustion of its residues. Reclamation of inactive waste slopes involves laying 0.5 m thick insulating layers consisting of loam or ash and slag waste from boiler plants. Implementation of the proposed technology will reduce air pollution by an average of 18.41% and air pollution charges by 7.09% annually. The impact of waste disposal operations carried out using the proposed technology will not have an excessive impact on water and land resources, and the waste generated will be transferred to specialized organizations for further handling.

Keywords: technology, environmental safety, waste, enrichment, pollution, environment

Введение

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) исходит из принципа потенциальной экологической опасности любой хозяйственной деятельности человека [1, с. 12; 2, с. 14; 3, с. 18]. В России ежегодно добывается 365 млн т угля. В результате этого на земной поверхности оказывается большое количество пустых горных пород.

Большинство из них складывается в отвалы, содержащие уголь как примесь, присутствующую в них в результате несовершенства применяемых технологий его разработки и первичного передела на обогатительных фабриках, склонную к самовозгоранию в естественных условиях [4; 5, с. 48–50]. В Кемеровской области отвалы угледобывающих и углеперерабатывающих пред-

приятий занимают 40 тыс. га, что равняется 0,5 % ее площади. В этой связи разработка технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля в отвал обогатительной фабрики является актуальной задачей.

Цель исследования – разработка рекомендаций по минимизации воздействия отвала отходов обогащения каменного угля на окружающую среду после его технического перевооружения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка состояния окружающей среды в районе размещения предприятия, включающая атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы (почвы).
2. Разработана технология экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля, снижающая концентрации выделяющихся токсичных веществ в воздушную среду до нормативного уровня.
3. Определены пути безопасного обращения с отходами для периодов технического перевооружения и последующей эксплуатации отвала.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на примере технического перевооружения действующего отвала обогатительной фабрики ООО «ММК-уголь» (г. Белово Кемеровской области) и связаны с увеличением объемов поступающего на переработку каменного угля, применением новой горной техники, необходимостью корректировки планов отвальных и рекультивационных работ, а также изменением экономических показателей работы предприятия [6, с. 23–25].

ОВОС отвала отходов обогащения каменного угля выполнена на основе нормативно-правовых документов, регламентированных действующим законодательством в области природопользования [7, с. 22–24; 8, с. 15]. Для выполнения ОВОС и решения сопутствующих ей задач использовались такие методы, как аналоговый, списка, матриц, причинно-следственных связей, оценки рисков и расчетный [9; 10, с. 28–34].

Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ выполнен программным комплексом «Эра» 3.0 (ООО НПП «Логос-Плюс», г. Новосибирск) с учетом их фоновых значений.

Результаты исследования и их обсуждение

Основой загрязнения атмосферы в период технического перевооружения отвала отходов обогащения каменного угля будет являться пыление, образующееся при раз-

работке и транспортировании горных пород, а также выбросы от автотранспорта и строительной техники [11, с. 36].

Для расчета выбросов использовались технические характеристики применяемого оборудования, а также объемы погрузочно-разгрузочных и транспортно-планировочных работ. В настоящее время высота действующего отвала составляет 15–65 м, а реконструированного – от 45 до 75 м. Результаты расчета выбросов токсичных веществ и их приземных концентраций для периода технического перевооружения отвала отходов обогащения каменного угля приведены в табл. 1.

Из анализа табл. 1 следует, что приземные концентрации всех загрязняющих веществ не превышают ПДК на границе СЗЗ и ЖЗ (за исключением азота диоксида, углерода оксида, углеводородов предельных и пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 > 70\text{--}20\%$). Это является следствием применения автотранспорта повышенной мощности и пыления горной массы, транспортируемой от обогатительной фабрики в отвал.

В настоящее время при выполнении отвальных работ предприятием используется технология, которая не предусматривает совмещение многоярусной отсыпки горной массы, проведения профилактики самовозгорания остатков угля и рекультивации нерабочих бортов отвала аналогично [12].

Основой загрязнения атмосферы в период технического перевооружения отвала является пыление, производимое при разработке и транспортировании горных пород, а также выбросы от автотранспорта и другой техники. Результаты расчета выбросов токсичных веществ и их приземных концентраций для периода эксплуатации отвала отходов обогащения каменного угля приведены в табл. 2.

Расчетные концентрации всех загрязняющих веществ с учетом фоновых значений не превышают ПДК на границах СЗЗ и ЖЗ за исключением азота диоксида, углерода оксида и пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 > 70\text{--}20\%$. Это является следствием выброса загрязняющих веществ автотранспортом и строительной техникой повышенной мощности, а также пыления отвальной горной массы.

С целью снижения воздействия на воздушную среду при выполнении отвальных работ предлагается технология экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля. Она предусматривает совмещение формирования многоярусных плоских поверхностей, проведения работ по профилактике самовозгорания остатков угля в складываемых отходах обогатительной фабрики и рекультивации нерабочих бортов отвала.

Таблица 1

Выбросы и приземные концентрации токсичных веществ
для периода технического перевооружения отвала

№	Наименование	Класс опасности	Выброс, т/г	СЗЗ, доли ПДК	ЖЗ, доли ПДК
1	Марганец и его соединения	2	0,000035	0,011	0,001
2	Азота диоксид	3	9,581816	1,902	1,241
3	Азота оксид	3	1,557233	0,371	0,321
4	Углерод (сажа)	3	0,826427	0,196	0,042
5	Серы диоксид	3	2,160434	0,175	0,136
6	Сероводород	2	0,000049	0,001	0,001
7	Углерода оксид	4	12,721532	1,136	1,099
8	Метилбензол (толуол)	3	0,130215	0,002	0,001
9	Бенз- α -пирен	1	0,000005	0,001	0,001
10	Бутилацетат	4	0,008982	0,011	0,003
11	Формальдегид	2	0,035286	0,001	0,001
12	Ацетон	4	0,009645	0,001	0,001
13	Керосин	3	3,135199	0,093	0,034
14	Углеводороды предельные	4	0,981953	1,562	1,199
15	Взвешенные вещества	3	0,004741	0,001	0,001
16	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 > 70-20\%$	3	20,595562	2,498	0,706
17	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 < 70-20\%$	3	0,388745	0,108	0,021

Примечание. СЗЗ – санитарная защитная зона; ЖЗ – жилая зона; ПДК – предельная допустимая концентрация.

Источник: составлено автором по результатам расчетов программным комплексом «Эра».

Таблица 2

Выбросы и приземные концентрации токсичных веществ
для периода эксплуатации отвала

№	Наименование	Класс опасности	Выброс, т/г	СЗЗ, доли ПДК	ЖЗ, доли ПДК
1	Азота диоксид	3	6,639622	1,274	1,234
2	Азота оксид	3	1,071912	0,397	0,394
3	Углерод	3	0,370726	0,005	0,004
4	Серы диоксид	3	7,415924	0,171	0,144
5	Углерода оксид	4	51,609762	1,646	1,634
6	Керосин	3	3,308035	0,011	0,005
7	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 > 70-20\%$	3	182,717624	1,937	1,403
8	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 < 70-20\%$	3	3,582698	0,084	0,064

Источник: составлено автором по результатам расчетов программным комплексом «Эра».

Предлагаемая технология включает в себя процесс укладки отходов обогащения угля при толщине отсыпаемого слоя 0,5 м при их уплотнении бульдозерами, покрытия поверхности каждого пятого слоя негорючими материалами при мощности отсыпаемого слоя 0,3 м, а также укладки изолирующих

слоев мощностью 0,5 м по поверхности откосов каждого из ярусов.

Планирование поверхности отвала осуществляется бульдозерами и предусматривает наличие трех отдельных участков при ширине каждого не менее 50 м. Первый участок служит для разгрузки автосамосва-

лов, второй – для проведения работ по формированию отвала, планированию поверхности и отсыпке ограждающего вала, а третий держится в резерве.

Целью применения бульдозеров в предлагаемой технологии является формирование противопожарного барьера, состоящего из глинистого или скального грунта шириной 5 м. Планировочные работы проводятся в местах контактов каждого отсыпаемого слоя с откосом действующего породного отвала. При их ведении осуществляется укладка отходов обогащения угля в направлении от краев к центру от-

вала, а толщина отсыпаемого слоя выдерживается на уровне 0,5 м. В качестве дополнительных видов работ выступают бульдозерное уплотнение отвальной массы с двух-четырёхкратным проходом по отсыпаемому участку отвала и покрытие каждого пятого слоя инертными природными материалами (рис. 1).

По программному комплексу «Эра» выполнен расчет концентраций азота диоксида, углерода оксида и пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 > 70\text{--}20\%$ в контрольных точках (КТ) для предлагаемой технологии ведения отвальных работ (рис. 2, табл. 3).

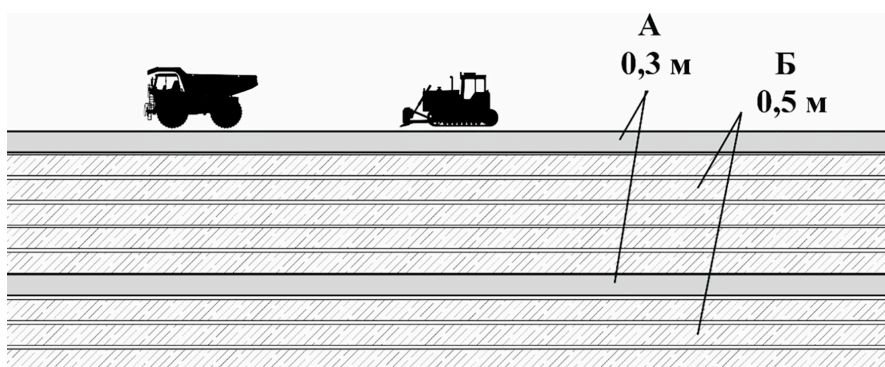


Рис. 1. Технология экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля:
А – слои из негорючих материалов (глинистые грунты и золы котельных установок);
Б – слои из отходов обогащения каменного угля
Источник: составлено автором по результатам разработки технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля

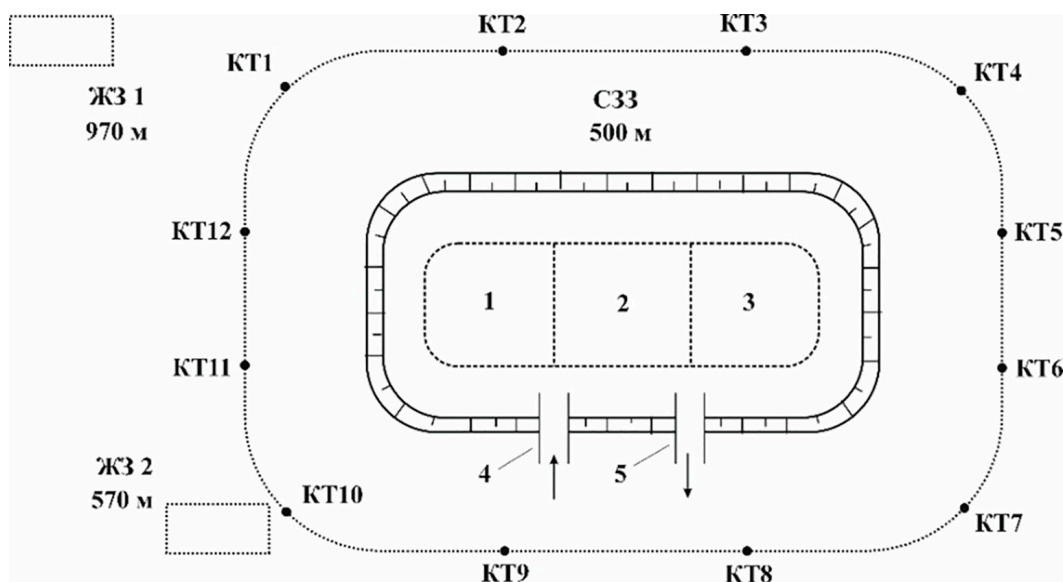


Рис. 2. Контрольные точки для периода эксплуатации отвала отходов обогащения каменного угля по предлагаемой технологии: 1 – разгрузочный участок; 2 – резервный участок; 3 – планировочный участок; 4 – въездная траншея; 5 – выездная траншея
Источник: составлено автором по результатам разработки технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля

Таблица 3

Приземные концентрации токсичных веществ
для периода эксплуатации отвала по предлагаемой технологии

Наименование	КТ, доли ПДК											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Азота диоксид	0,864	0,888	0,842	0,841	0,836	0,856	0,886	0,912	0,846	0,842	0,832	0,834
Углерода оксид	0,782	0,788	0,754	0,743	0,734	0,766	0,778	0,786	0,768	0,764	0,754	0,762
Пыль неорганическая, SiO ₂ > 70–20 %	0,844	0,865	0,852	0,846	0,842	0,862	0,864	0,834	0,845	0,822	0,812	0,806

Источник: составлено автором по результатам расчетов программным комплексом «Эра».

Таблица 4

Отходы, образующиеся в период технического перевооружения отвала

Класс опасности	Наименование	Количество, т
2	Аккумуляторы свинцовые	0,817
3	Отходы минеральных масел	2,338
	Песок, загрязненный нефтепродуктами	3,682
	Фильтры очистки масла и топлива	0,364
4	Спецодежда и спецобувь	0,075
	Мусор офисный	1,168
	Мусор строительный	16,681
	Обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами	0,018
	Шины пневматические	4,003
	Фильтры воздушные	0,073
5	Металлические отходы	0,084
	Респираторы фильтрующие	0,243
	Остатки и огарки сварочных электродов	0,075
Всего		29,621

Источник: составлено автором по результатам расчета образования отходов по удельным нормам.

Из анализа рис. 2 и табл. 3 следует, что предлагаемая технология ведения горных работ после технического перевооружения отвала обеспечит требуемый уровень загрязнения воздушной среды в пределах установленной для него СЗЗ.

Расчет платы за загрязнение воздушной среды для периода эксплуатации отвала по принятой технологии составляет 12858,56 руб./г, а по предлагаемой – 11947,46 руб./г¹.

¹ Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/aed3a10937b9f8c79b9b9b5bdc08a8a31296c43d/ (дата обращения: 09.07.2025).

Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» (с изм. и доп. от 24.01.2020) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 09.07.2025).

Ближайшим природным водным объектом по отношению к отвалу отходов обогащения каменного угля является р. Черта. Установленный для этой реки размер водоохранной зоны составляет 50 м, а минимальное расстояние до мест проведения отвальных работ – 800 м.

Всевозможные отходы, образующиеся в результате реализации процессов хозяйственной деятельности человека, в наибольшем количестве образуются в горной и горно-перерабатывающей промышленности [13, с. 6]. Отходы, образующиеся в период технического перевооружения отвала отходов обогащения каменного угля, представлены в табл. 4 [14, с. 34–36; 15, с. 28].

Отходы, образующиеся в период эксплуатации отвала отходов обогащения каменного угля по предлагаемой технологии, представлены в табл. 5 [14, с. 34–36; 15, с. 28].

Таблица 5

Отходы, образующиеся в период эксплуатации отвала по предлагаемой технологии

Класс опасности	Наименование	Количество, т
2	Аккумуляторы свинцовые	0,547
3	Отходы минеральных масел	3,804
	Песок, загрязненный нефтепродуктами	3,682
	Фильтры очистки масла и топлива	0,318
4	Спецодежда и спецобувь	0,314
	Фильтры из полимерных материалов	13,638
	Светодиодные лампы	0,008
	Мусор офисный	3,922
	Обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами	0,064
	Шины пневматические	39,958
	Фильтры воздушные	0,059
5	Отходы полиэтиленовой тары	0,006
	Респираторы фильтрующие	1,971
Всего		68,291

Источник: составлено автором по результатам расчета образования отходов по удельным нормам.

Расчет платы за обращение с отходами составляет для периода технического перевооружения отвала 11947,57 руб./г, а его эксплуатации – 2911,71 руб./г².

Выводы

1. Внедрение предлагаемой технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля в отвал позволит снизить загрязнение атмосферного воздуха в среднем на 18,41 % и довести его до уровня не выше ПДК.

2. Внедрение предлагаемой технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля в отвал позволит снизить ежегодные платежи за загрязнение воздушной среды на 7,08 %.

3. Воздействие отвала отходов обогащения каменного угля на поверхностные и подземные водные объекты, а также земельные ресурсы (почвы) является допустимым.

4. Отходы, образующиеся при техническом перевооружении и последующей эксплуатации отвала отходов обогащения

каменного угля, не окажут значимого воздействия на окружающую среду в пределах земельного отвала предприятия, поскольку будут передаваться для дальнейшего обращения специализированным организациям на хозяйственно-договорных основаниях.

Список литературы

1. Колесников Е.Ю. Оценка воздействия на окружающую среду. М.: Юрайт, 2023. 471 с. ISBN 978-5-534-15905-9.
2. Константинов В.М. Экологические основы природопользования. М.: Высшая школа, 2023. 240 с. ISBN 978-5-4468-0008-7.
3. Астафьева О.Е., Авраменко А.А., Питрюк А.В. Экологические основы природопользования. М.: Юрайт, 2023. 377 с. ISBN 978-5-534-15994-3.
4. Гендлер С.Г., Братских А.С. Актуальные проблемы возгорания угольных скоплений в породных отвалах // Горная промышленность. 2024. С. 71–77. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77.
5. Семенова И.В. Промышленная экология. М.: Академия, 2023. 528 с. ISBN: 978-5-7695-4903-8.
6. Мкртчян Г.М., Пляскина Н.И. Экономические и правовые вопросы регулирования охраны окружающей среды. Новосибирск: НГУ, 2000. 153 с. ISBN 5-89665-078-7.
7. Опекунов А.Ю., Ганул А.Г. Теория и практика экологического нормирования в России. М.: СПбГУ, 2024. 332 с. ISBN 978-5-288-05512-6.
8. Боголюбов С.А., Позднякова Е.А. Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды. М.: Юрайт, 2024. 480 с. ISBN 978-5-534-17928-6.
9. Приказ № 999 от 01.12.2020 «Об утверждении требований к материалам по оценке воздействия на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 09.07.2025).

² Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/aed3a10937b9f8c79b9b9b5bdc08a8a31296c43d/ (дата обращения: 09.07.2025).

Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» (с изм. и доп. от 24.01.2020) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 09.07.2025).

consultant.ru/document/cons_doc_LAW_382699/ (дата обращения: 09.07.2025).

10. Самсонов В.Т. Обеспыливание воздуха в промышленности. М.: ИНФРА-М, 2021. 232 с. ISBN 978-5-16-011283-1.

11. Стрельников В.В., Чернышева Н.В. Анализ и прогноз загрязнений окружающей среды. М.: ИНФРА-М, 2021. 338 с. ISBN 978-5-16-015389-6.

12. Цыганков Д.А. Экологические проблемы рекультивации карьерной выемки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022.

№ 9. С. 52–56. URL: <https://applied-research.ru/ru/issue/view?id=630/> (дата обращения: 04.07.2025).

13. Цыганков Д.А. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2024. 99 с. ISBN 978-5-7782-5146-5.

14. Бобович Б.Б. Обращение с отходами производства и потребления. М.: ИНФРА-М, 2022. 434 с. ISBN 978-5-16-013696-7.

15. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Лань, 2021. 303 с. ISBN 978-5-8114-8144-6.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 677.494.674

**ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОН
В ИЗДЕЛИЯХ ДЛЯ НЕЙРОХИРУРГИИ****Русских В.А.**

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,
Пенза, e-mail: dogvlad2014@gmail.com;
ЗАО НПП «МедИнж», Пенза*

Рассматривается перспективный материал – полиэфирэфиркетон и его применение в современных изделиях для нейрохирургии. Материал выделяется высокой биосовместимостью, прочностью, устойчивостью к стерилизации и рентгенпрозрачностью, что позволяет активно внедрять его в медицинскую практику. Основные направления использования данного материала включают производство имплантатов для черепно-лицевой хирургии, межтеловых кейджей для позвоночника, инструментов и устройств для операций на центральной нервной системе. При написании статьи было проанализировано 46 источников в период с 2010 до 2025 года, в обзоре указано 25 источников. Преимущества материала заключаются в низкой плотности, отличной коррозионной устойчивости и полном отсутствии взаимодействия с магнитно-резонансными установками. Однако имеются некоторые ограничения, такие как необходимость дополнительной обработки поверхности для улучшения остеоинтеграции с костными структурами организма и сравнительно высокая стоимость изготовления конечных изделий. Использование аддитивных технологий (таких, как селективное лазерное спекание и стереолитография), позволяющих создавать изделия сложной геометрии и индивидуальной формы, открывает новые возможности для оптимизации свойств материалов и повышения эффективности медицинских процедур. Современные модификации материала, включающие добавки биоактивных компонентов (например, гидроксиапатита), способствуют улучшению остеоинтеграционных характеристик и расширяют сферу применения полиэфирэфиркетона в реконструктивной нейрохирургии. Таким образом, исследование демонстрирует значительный потенциал материала для дальнейших разработок и внедрения инновационных решений в медицине, способствуя повышению стандартов качества лечения и комфорта пациентов.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон (ПЕЕК), биосовместимость, нейрохирургия, имплантаты, аддитивные технологии

**REVIEW OF THE USE OF POLYETHERETHERKETONE
MATERIAL IN NEUROSURGERY PRODUCTS****Russkikh V.A.**

*Penza State Technological University, Penza, e-mail: dogvlad2014@gmail.com;
LLC NPP MedEng, Penza*

A promising material, polyesteretherketone, and its use in modern products for neurosurgery are being considered. The material stands out for its high biocompatibility, strength, resistance to sterilization and X-ray transparency, which makes it possible to actively introduce it into medical practice. The main uses of this material include the production of implants for craniofacial surgery, interbody cages for the spine, instruments and devices for operations on the central nervous system. When writing the article, 46 sources were analyzed between 2010 and 2025, and 25 sources were included in the review. The advantages of the material are low density, excellent corrosion resistance and complete absence of interaction with magnetic resonance installations. However, there are some limitations, such as the need for additional surface treatment to improve osseointegration with the body's bone structures and the relatively high cost of manufacturing the final products. The use of additive technologies (such as selective laser sintering and stereolithography), which make it possible to create products with complex geometries and individual shapes, opens up new opportunities for optimizing material properties and improving the effectiveness of medical procedures. Modern modifications of the material, including additives of bioactive components (for example, hydroxyapatite), contribute to the improvement of osseointegration characteristics and expand the scope of application of polyesteretherketone in reconstructive neurosurgery. Thus, the study demonstrates the significant potential of the material for further development and implementation of innovative solutions in medicine, contributing to higher standards of quality of treatment and patient comfort.

Keywords: polyetheretherketone (PEEK), biocompatibility, neurosurgery, implants, additive technologies

Введение

Существующее представление о нейрохирургии ставит жесткие рамки в плане требований к биосовместимости, прочности, устойчивости к стерилизации и рентгенпрозрачности материалов, которые используются производителями медицинских

изделий [1]. Одним из самых перспективных материалов для дальнейшего использования в широком спектре изделий для нейрохирургии Ziyi Zhang и Junxing Shao из Китайско-Японской объединенной больницы считают полиэфирэфиркетон (PEEK, polyetheretherketone) [2]. Благодаря

особенному сочетанию физико-химических и биомеханических свойств данный полимер постепенно приходит на место традиционных материалов, которые используются в медицинской области, таких как титан и нержавеющая сталь. В большей степени это касается производства имплантатов и различных инструментов [3].

Цель исследования – рассмотреть ключевые свойства материала РЕЕК, выделить его качественные преимущества по сравнению с популярными материалами, а также выделить основные изделия из данного материала в нейрохирургической практике.

Материалы и методы исследования

При написании статьи было проанализировано 46 источников в период с 2010 до 2025 года, в обзоре указано 25 источников.

Результаты исследования и их обсуждение

Общая характеристика материала РЕЕК

Этот вид материала относится к группе термопластичных полимеров класса полиакрилатов (ПАК) [4]. Его строение на молекулярном уровне предоставляет возможность сочетать в себе стойкость к термическому и химическому воздействию с механическими свойствами прочности и жесткости, сравнимыми с металлами [5]. Полиэфирэфиркетон способен эксплуатироваться в высоком температурном диапазоне (до 250 °C), а также устойчив к методам стерилизации паром и радиацией. Материал способен переносить обработку большинством органических растворителей [6].

Как и любой материал, РЕЕК обладает своими особенностями:

- высокая механическая прочность (до 4 ГПа составляет модуль упругости);
- абсолютная биосовместимость;
- химическая инертность;
- рентгенпрозрачность;
- возможность использования аддитивных технологий и фрезерования;
- высокая устойчивость к износу [7].

Биосовместимость и остеоинтеграция

Совместимость материала РЕЕК с органическими тканями и жидкостями была доказана многими клиническими исследованиями и экспериментами. Этот полимер исключает вероятность воспалений острого или хронического характера, а также не оказывает ядовитого влияния на «живые» ткани. По сравнению с металлами, РЕЕК не вступает в окислительную реакцию и не вызывает обмена ионов в организме [8].

Тем не менее пластик в чистом виде, а точнее его поверхность, плохо взаимодействует с тканью костей. Для того, чтобы

решить этот вопрос, разрабатываются и изготавливаются различные модификации:

- с нанесением титана в качестве покрытия поверхности;
- создание микропористости и текстурирования;
- разработка субполимеров на основе РЕЕК с включением керамического или углеродного наполнения.

Эти способы доработки обеспечивают повышение приживления имплантатов, а также ускоряют восстановление пациента [9].

По этой таблице следует, что полиэфирэфиркетон показывает свои преимущества, что крайне важно в вопросах визуализации при МРТ- и КТ-исследованиях. Кроме того, преимущества демонстрируются в плане снижения веса изделий, а также стойкости к коррозии [13].

Применение РЕЕК в медицинских изделиях для нейрохирургии

Полиэфирэфиркетон может применяться в различных изделиях медицинского назначения.

– Имплантаты для черепно-лицевой хирургии (рис. 1). Для краниопластики РЕЕК полезен благодаря своим свойствам прочности и совместимости. Он применяется для восстановления дефектов черепных костей. Изготовленные с использованием аддитивных технологий имплантируемые изделия по данным томографий предоставляют возможность полностью повторить анатомические особенности формы головы пациента и обеспечить прекрасный внешний вид. Изделия из этого материала обладают полной прозрачностью при проведении исследований с использованием рентгеновских волн, а также не создают артефактов на снимках в таких исследованиях [14].



Рис. 1. Черепно-лицевые имплантаты из РЕЕК BONABYTE

Примечание: составлено автором по данным источников [15]

Сравнение PEEK с традиционными материалами

Свойство	Титан	Нерж. сталь	PEEK
Биосовместимость	Высокая	Средняя	Очень высокая
Рентгенопрозрачность	Нет	Нет	Да
Вес	Высокий	Высокий	Низкий
Жёсткость (ГПа)	~110	~190	~4
Коррозионная устойчивость	Хорошая	Средняя	Отличная
Совместимость с МРТ	Частичная	Ограниченная	Полная

Примечание: составлено автором по данным источников [10-12].

– Межтеловые кейджи для позвоночника (рис. 2). В хирургии позвоночника PEEK используют фирмы-производители кейджей межпозвонковых дисков, применяемых на операциях по лечению спондилодеза. Эта модель стабилизирует сегмент позвоночника и помогает сращиванию костей позвоночника. Это обеспечивается низким модулем упругости, близким к показателям костной ткани. PEEK снижает риск проседания имплантата в тело позвонка, и равномерно распределяется нагрузка на само изделие [16].



Рис. 2. Кейджи ООО «Эндокарбон», г. Пенза
Примечание: составлено автором по данным источников [17]

– Инструменты и вспомогательные устройства. Полиэфирэфиркетон обладает высокой устойчивостью к многократ-

ной стерилизации, что прекрасно подходит для производства инструментов хирурга, различных зажимов, ретракторов и направляющих (рис. 3). А диэлектрические свойства обеспечивают применение подобных изделий в электрохирургии [18].

– Нейростимуляторы и корпуса приборов. Данный материал подходит для изготовления корпусов интракраниальных нейростимуляторов, катетеров и систем доставки лекарств. Устойчивость к химическому воздействию PEEK, а также его стабильность при долговременном воздействии с биологическими тканями делает его идеальным вариантом для длительной имплантации [20].

Виды технологий производства и обработки

PEEK может быть обработан механическими методами в виде фрезеровки и сверления, а также изделия могут быть изготовлены с использованием аддитивных технологий [21]. 3D-печать материала PEEK требует экструдеров, способных нагреваться до высоких температур (свыше 400 °C – плазменная обработка;

- гидроабразивная текстуризация;
- лазерное травление.

Эти методы включают в технологический процесс производства изделий с целью повышения адгезии к тканям костей, а также для улучшения включения в структуру костей [23].



Рис. 3. Лапароскопический инструмент из PEEK-диэлектрик от Microline Surgical
Примечание: составлено автором по данным источников [19]

Перспективы и ограничения

Хотя РЕЕК обладает большим рядом достоинств, он имеет и свои недостатки:

- более высокая стоимость в сравнении с металлами;
- низкое взаимодействие с поверхностью костей при отсутствии предварительной обработки;
- потребность в модификации для эффективного включения в структуру костей [24].

Но развитие технологий обработки поверхности, разработка композитных материалов на основе РЕЕК (РЕЕК-углерод, РЕЕК-керамика), а также снижение стоимости аддитивных технологий делают материал и изделия из него более доступными.

В перспективе можно ожидать более широкий спектр применения полиэфирэфиркетона для производства нейрохирургических навигационных систем, миниатюрных сенсоров и даже биоразлагаемых имплантатов [25].

Благодаря своим свойствам РЕЕК становится ключевым компонентом инноваций в различных областях, особенно в медицине. Ожидается, что в ближайшем будущем применение РЕЕК значительно расширится, охватывая сферы нейрохирургии, диагностики и восстановительной медицины.

Применение в нейрохирургии

Одним из главных направлений развития станет использование РЕЕК в производстве нейрохирургических навигационных систем. Современная медицина активно внедряет методы точной визуализации и планирования хирургических операций, особенно в деликатных областях, таких как мозг и центральная нервная система. Нейронавигационные системы помогают врачам точно определить расположение патологических очагов, снизить риск осложнений и обеспечить успешность операции. Свойства РЕЕК обеспечивают стабильность конструкции, совместимость с человеческим организмом и устойчивость к стерилизации.

Примером таких приложений являются:

- прозрачные рентгенопрозрачные маркеры для точного определения местоположения опухолей;
- навигационные рамки для стереотаксического размещения электродов;
- роботизированные платформы для автоматизации хирургического вмешательства.

Сенсорные решения на основе РЕЕК

Кроме того, ожидается широкое распространение миниатюрных сенсорных приборов, изготовленных из РЕЕК. Это связано с развитием методов биоинженерии и необходимостью постоянного контроля жизненно важных показателей человеческого

тела. В связи с исключительными свойствами материала (устойчивость к воздействию среды организма, отсутствие токсичности) он идеально подходит для долгосрочного внедрения внутрь организма.

Наиболее перспективные направления

- Миниатюрные кардиостимуляторы: датчики сердечного ритма, способные непрерывно контролировать состояние сердечно-сосудистой системы.

- Биосенсоры уровня сахара крови: постоянное отслеживание концентрации глюкозы для диабетиков.

- Имплантируемые дозаторы лекарств: автоматическое введение препаратов в нужное время и нужном количестве.

Роль РЕЕК в создании биоразлагаемых имплантатов

Особое внимание уделяется разработке биоразлагаемых имплантатов на основе РЕЕК. Сегодня многие традиционные медицинские имплантаты требуют повторных оперативных вмешательств для удаления, что увеличивает риски осложнений и снижает качество жизни пациентов. Разработка биоразлагаемых конструкций позволит избежать таких сложностей.

Некоторые потенциальные продукты:

- каркасы для костной ткани: восстанавливают костные дефекты путем направленной регенерации собственных клеток пациента;
- протезы суставов: облегчают восстановление подвижности после травм и болезней опорно-двигательного аппарата;
- стенты для сосудистой сети: поддерживают кровообращение в пораженных участках сосудов и постепенно растворяются по мере восстановления естественной циркуляции.

Заключение

РЕЕК (полиэфирэфиркетон) представляет собой инновационный материал, который активно применяется в современной нейрохирургической практике. Его широкое применение обусловлено уникальным набором свойств, что включает в себя высокую биосовместимость, превосходные механические свойства, устойчивость к многократной стерилизации разными способами и отличную визуализацию в процессе исследования популярными системами диагностики (компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, рентгеновское исследование).

В современном мире этот полимер имеет широкий спектр применения в различных областях нейрохирургии, куда включаются реконструкция черепа (краниопластика), операции на восстановление функций по-

звоночника (спинальная хирургия), а также изготовление специализированного инструментария для операционных воздействий на тканях нервной системы. К примеру, имплантируемые изделия из ПEEK обеспечивают минимизацию осложнений, повышение качества жизни пациентов после травм головы или позвоночника, а также надежно стабилизируют и фиксируют кости и ткани.

Дальнейшее развитие этой области медицинских имплантируемых изделий заключается в расширении знаний и навыков в методах обработки заготовок и обработке материала для снижения стоимости изделий и ПEEK, что сделает их доступными и более известными в кругах нейрохирургов и медицинских учреждений данной области медицины. Таким образом, в плане внедрения изделий открываются новые горизонты для повышения эффективности применения имплантатов из ПEEK в клинической практике и улучшения результатов лечения заболеваний ЦНС и опорно-двигательного аппарата тяжелой степени.

Список источников

- Elnaggar M.A., Elnoamany H.A., Eissa M.K. Clinical evaluation of 3D PEEK implants for skull bone defects repair: a single center case series // *Egypt J Neurosurg.* 2025. Vol. 40. № 11. DOI: 10.1186/s41984-025-00374-0. URL: <https://rdcu.be/evtFd> (дата обращения: 15.05.2025).
- Ni J., Zheng Y., Liu N., Wang X., Fang X., Phukan R. et al. Radiological evaluation of anterior lumbar fusion using PEEK cages with adjacent vertebral autograft in spinal deformity long fusion surgeries // *Eur Spine J.* 2015. Vol. 24(4). P. 791–799. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25618451/> (дата обращения: 15.05.2025).
- Aghali A. Craniofacial bone tissue engineering: Current approaches and potential therapy // *Cells Basel, Switz.* 2021. Vol. 10 (11). P. 2993. DOI: 10.3390/cells10112993.
- Aydin S., Kucukyuruk B., Abuzayed B., Aydin S., Sanus G.Z. Cranioplasty: review of materials and techniques // *J Neurosci Rural Pract.* 2011. Vol. 2(2). P. 162–167.
- Gheorgheanu V.A., Gingu O.I., Antoniak H.O. Modern possibilities and prospects of using bone grafts and biomaterials for bone tissue regeneration: from clinical needs to advanced biomaterials research // *Appl Sci.* 2023. Vol. 13(14). № 8471.
- Купер Д.Дж., Розенфельд Дж.В., Мюррей Л., Араби Ю.М., Дэвис А.Р., Д'Урсо П., Космани Т., Понсфорд Дж., Сеппелт И., Рейли П., Вулф Р. Декомпрессивная краниэктомия при диффузном травматическом повреждении головного мозга // *N Engl J Med.* 2011. Vol. 364(16). С. 1493–502. DOI: 10.1056/nejmoa1102077.
- Li J., von Campe G., Pepe A., Gsaxner C., Wang E., Chen X., et al. Automatic skull defect restoration and cranial implant generation for cranioplasty // *Med. Image Anal.* 2021. Vol. 73. № 102171. DOI: 10.1016/j.media.2021.102171.
- Lamaye N., Veschini L., Coward T. Assessing biocompatibility & mechanical testing of 3D-printed PEEK versus milled PEEK // *Heliyon.* 2022. Vol. 8(12). P. 1–13. Advance online publication. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12314.
- Punchak M., Chung L.K., Lagman C., Bui T.T., Lazareff J., Rezzadeh K., Jarrahy R., Yang I. Outcomes following polyetheretherketone (PEEK) cranioplasty: Systematic review and meta-analysis // *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia.* 2017. Vol. 41. P. 30–35. DOI: 10.1016/j.jocn.2017.03.028.
- Godbole S.D., Chandak A.V., Balwani T.R. Poly Ether Ether Ketone (PEEK) Applications in Prosthodontics – A Review “Peek into PEEK at Peak” // *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences.* 2020. Vol. 9, No. 43. P. 3242–3246. DOI: 10.14260/jemds/2020/711. EDN: YFCNLH.
- Гветадзе Р.Ш., Дмитриева Н.А., Воронин А.Н. Особенности адгезии микроорганизмов к стоматологическим материалам, используемым для формирования контура десны при протезировании с опорой на дентальные имплантаты // *Стоматология.* 2019. Т. 98, № 5. С. 118–123. DOI: 10.17116/stomat201998051118. EDN: SPABNC.
- Ghafoor R. Sneak Peek on Polyetheretherketone (Peek) in Dentistry – A Narrative Review // *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research.* 2022. Vol. 44, No. 2. DOI: 10.26717/bjstr.2022.44.007023. EDN: PFVQYE.
- Ступак В.В., Мишинов С.В., Садовой М.А., Копорушко Н.А., Мамонова Е.В., Панченко А.А., Красовский И.Б. Современные материалы, используемые для закрытия дефектов костей черепа // *Современные проблемы науки и образования.* 2017. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26626> (дата обращения: 01.07.2025).
- Thapa A.J., Lei B.X., Zheng M.G., Li Z.J., Liu Z.H., Deng Y.F. The Surgical Treatment of Posttraumatic Skull Base Defects with Cerebrospinal Fluid Leak // *Journal of neurologic surgery. Part B, Skull base.* 2018. Vol. 79(2). P. 205–216. DOI: 10.1055/s-0037-1606555.
- Frassanito P., Frascetti F., Bianchi F., Giovannenze F., Caldarelli M., Scoppettuolo G. Management and prevention of cranioplasty infections. Child's nervous system // *Official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery.* 2019. Vol. 35(9). P. 1499–1506. DOI: 10.1007/s00381-019-04251-8.
- Nimonkar S., Godbole S., Belkhode V., Nimonkar P., Pisulkar S. Effect of rehabilitation of completely edentulous patients with complete dentures on temporomandibular disorders: a systematic review // *Cureus.* 2022. Vol. 14. № e28012. DOI: 10.7759/cureus.28012.
- Lu T., Liu X., Qian S., et al. Multilevel surface engineering of nanostructured TiO₂ on carbon-fiber-reinforced polyetheretherketone // *Biomaterials.* 2014. Vol. 35. P. 5731–5740. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2014.04.003.
- Luo C., Liu Y., Peng B., et al. PEEK for oral applications: recent advances in mechanical and adhesive properties // *Polymers (Basel).* 2023. Vol. 15. № 386. DOI: 10.3390/polym15020386.
- Ding L., Lu W., Zhang J., Yang C., Wu G. Preparation and performance evaluation of duotone 3D-printed polyetheretherketone as oral prosthetic materials: a proof-of-concept study. *Polymers (Basel).* 2021. Vol. 13. № 1949. DOI: 10.3390/polym13121949.
- de Araújo Nobre M., Moura Guedes C., Almeida R., Silva A., Sereno N. The all-on-4 concept using polyetheretherketone (PEEK) – Acrylic resin prostheses: follow-up results of the development group at 5 years and the routine group at one year // *Biomedicines.* 2023. Vol. 11. № 3013. DOI: 10.3390/biomedicines11113013.
- Shuvalov S.D., Tolkachev V.S., Bazhanov S.P., Shulga A.E., Ostrovskij V.V., Ulyanov V.Yu. The use of implants made from different materials in lumbar spinal fusion surgery (Review) // *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2024. Vol. 20(4). P. 388–395. EDN: FNOARA. DOI: 10.15275/ssmj388.
- Chang V., Hartzfeld P., Langlois M., Mahmood A., Seyfried D. Outcomes of cranial repair after craniectomy // *J Neurosurg.* 2010. Vol. 112. P. 1120–1124. DOI: 10.3171/2009.6.JNS09133. PMID: 19612971.
- Eolchiian S.A. Complex skull defects reconstruction with CAD/CAM titanium and polyetheretherketone (PEEK) implants // *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2014. Vol. 78(4). P. 3–13.
- Wang H., Zhang K., Cao H., Zhang X., Li Ye., Wei Q., Zhang D., Jia Q., Bie Li. Seizure after cranioplasty: incidence and risk factors // *J Craniofac Surg.* 2017. Vol. 28(1). DOI: 10.1097/SCS.00000000000003863.
- Moiduddin K., Mian S.H., Elseufy S.M., Alkhalefah H., Ramalingam S., Sayeed A. Polyether-ether-ketone (PEEK) and its 3D-printed quantitative assess – ment in cranial reconstruction // *J Funct Biomater.* 2023. Vol. 14(8). № 429.

СТАТЬЯ

УДК 615.074:615.32:547

КАЧЕСТВЕННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ПРОТОПИНА В ТРАВЕ *MACLEAYA CORDATA* И *MACLEAYA MICROCARPA* МЕТОДОМ ГАЗО-ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ**Копытько Я.Ф.***ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, e-mail: kopytko@mail.ru*

Маклейя сердцевидная (*Macleaya cordata* (Willd.) R. Br.) и маклейя мелкоплодная (*Macleaya microcarpa* (Maxim.) Fedde) являются источниками изохинолиновых алкалоидов (сангвинарина, хелеретрина, протопина, аллокриптопина и др.), которые идентифицируют различными хроматографическими методами. Целью исследования является качественное обнаружение протопина в образцах травы маклейи методом газо-жидкостной хромато-масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре 450GC-220MS (Varian, США) с масс-анализатором типа «ионная ловушка», с кварцевой капиллярной колонкой FactorFour VF-5ms (30 м × 0,25 мм). В качестве испытуемого раствора использовали спиртовое извлечение из травы. В результате проведенного анализа качественно обнаружены протопиновые алкалоиды. Для оптимизации хроматографического разделения алкалоидных соединений проведен подбор температурной программы, выявлено, что протопиновые алкалоиды образуют паровую фазу при температуре 240 °C, как соединения близкой химической структуры, они выходят близко расположенными пиками. Выявлено, что в спиртовых извлечениях из образцов обоих видов маклейи преобладают протопин и аллокриптопин, причем в таковом из *M. cordata* содержание этих соединений заметно выше, чем в *M. microcarpa*, что явствует из площадей пиков. Отношение содержаний протопина и аллокриптопина, вычисленное по площадям пиков, составляет в лекарственном растительном сырье маклейи сердцевидной – 1,6, в мелкоплодной – 1,3. Предложенная методика и полученные результаты позволяют использовать их при количественной оценке в пересчете на стандартный образец при его наличии. В извлечении из *M. cordata* также найден алкалоид дидронитидин. Наряду с алкалоидами в обеих пробах обнаружено азотгетероциклическое соединение – 2,4-диамино-7,8,9,10-тетрагидро-11-(3-пиридил)пиримидо[5',4':2',3']тиено[5,4-b]хинолин, которое может не являться нативным, так как при высоких температурах могут происходить различные процессы, приводящие к появлению дериватов и артефактов, а также бензо[f]бензимидазоло[2,1-b]бензотиазол и 4-амино-2-[p-(диметиламино)фенил]-5H-1]бензопирано[4,3-d]пиримидин-5-он, которые могут как быть нативными соединениями, так и являться артефактами.

Ключевые слова: *Macleaya cordata*, *Macleaya microcarpa*, протопин, ГЖХ-МС**QUALITATIVE DETECTION OF PROTOPINE IN *MACLEAYA CORDATA* AND *MACLEAYA MICROCARPA* HERBA BY GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHIC MASS SPECTROMETRY****Kopytko Ya.F.***All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, e-mail: kopytko@mail.ru*

Plume poppy *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br.) and *Macleaya microcarpa* (Maxim.) Fedde are sources of isoquinoline alkaloids (sanguinarin, chelerythrin, protopin, allocryptopin, etc.), which are identified by various chromatographic methods. The objective of the study is the qualitative detection of protopin in plume poppy samples by gas-liquid chromatographic mass spectrometry on a 450GC-220MS chromatographic mass spectrometer (Varian, USA) with an ion trap mass analyzer, with a FactorFour VF-5ms quartz capillary column (30 m × 0.25 mm). Alcohol extraction from plant was used as the test solution. As a result of the analysis, protopine alkaloids were qualitatively detected. To optimize the chromatographic separation of alkaloid compounds, a temperature program was selected, it was found that protopine alkaloids form a vapor phase at a temperature of 240 °C, as compounds of a similar chemical structure, they come out with closely spaced peaks. It was found that protopine and allocryptopin predominate in alcoholic extracts from samples of both species of macleia, and in such of *M. cordata* the content of these compounds is noticeably higher than in *M. microcarpa*, which is evident from the peak areas. The ratio of protopin and allocryptopin content, calculated from peak areas, is 1.6 in medicinal plant raw material of *M. cordata*, and 1.3 in *M. microcarpa*. The proposed method and the obtained results make it possible to use them for quantitative evaluation and calculation as reference standard, if any. The alkaloid dihydroneitidine was also found in the extract from *M. cordata*. Along with alkaloids, an azoheterocyclic compound was found in both samples – 2,4-diamino-7,8,9,10-tetrahydro-11-(3-pyridyl)pyrimido[5',4':2',3']thieno[5,4-b]quinoline, which may not be native, since various processes leading to the appearance of derivatives and artifacts can occur at high temperatures, as well as benzo[f]benzimidazole[2,1-b]benzothiazole and 4-amino-2-[p-(dimethylamino)phenyl]-5H-1]benzopyrano[4,3-d]pyrimidin-5-one, which can be both native compounds and artifacts.

Keywords: *Macleaya cordata*, *Macleaya microcarpa*, protopine, GC-MS

Введение

Маклейя сердцевидная (*Macleaya cordata* (Willd.) R. Br.) и маклейя мелкоплодная (*Macleaya microcarpa* (Maxim.) Fedde) сем. маковые – Papaveraceae являются источниками изохинолиновых алкалоидов, обладающих важными фармакологическими свойствами – седативным, психотропным, обезболивающим, противомикробным и противовоспалительным действием. Лекарственное растительное сырье (ЛРС) маклейи используется для получения препарата Сангвиритрина – суммы бисульфатов бензо[с]фенантридиновых алкалоидов сангвинарина и хелеритрина, обладающих противомикробным действием [1, 2].

В надземной части маклейи среди алкалоидов преобладают сангвинарин и хелеретрин, сумма которых составляет в листьях образцов растений, выращенных в России (ВИЛАР), до 2,01 %; в листьях *M. cordata* из Польши – 3,1 и 5,6 мг/г; в траве – 0,7 и 1,8 сангвинарина и хелеритрина соответственно. Также содержатся алкалоиды протопинового типа среди которых преобладают протопин (до 35 %) и аллокриптопин (до 15 %), которые характеризуются выраженным противовоспалительным действием. В образцах листьев *M. cordata* протопина найдено 1,76 мг/г; в траве – 0,47 мг/г [3–5]. Протопина гидрохлорид, изохинолиновый алкалоид, является специфическим обратимым и конкурентным ингибитором ацетилхолинэстеразы, проявляет противовоспалительную, антимикробную, антиангиогенную, нейропротективную и противоопухолевую активность [3, 6, 7].

Скрининг биологически активных веществ, их качественное и количественное определение требует использования высокоселективных физико-химических методов. Для анализа алкалоидных соединений маклейи используются различные хроматографические методы. ВЭЖХ – квадратупольная времяпролетная масс-спектрометрия чаще всего используется для комплексных исследований сырья и лекарственных средств растительного происхождения. С помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с tandem-масс-селективным детектированием в экстракте маклейи сердцевидной были идентифицированы 32 алкалоида, в том числе 16 минорных алкалоидных соединений, включая нандазурин, гидроксигелидонин, капауридин, (-)-дицентрин, лептопин, адлумидин, такатонин и др. [8, 9].

Протопин также может быть идентифицирован и количественно определен методами газо-жидкостной хромато-масс-спектрометрии (ГЖХ-МС) и тонкослойной

хроматографией в комбинации с ГЖХ-МС (ТСХ/ГЖХ-МС). По сравнению с высокоэффективной жидкостной хроматографией в сочетании с масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС) или высокоэффективной жидкостной хроматографией, соединенной с методом ядерного магнитного резонанса (ВЭЖХ-ЯМР), ТСХ/ГЖХ-МС имеет преимущества в виде короткого времени анализа, низкой стоимости разделения и простоты определения. ТСХ/ГЖХ-МС больше подходит для быстрого скрининга большого количества образцов небольшой массы из растений, содержащих алкалоиды [10]. Для анализа алкалоидов в экстрактах применялся также биоавтографический анализ ТСХ, совместно с препаративной ТСХ и ГЖХ-МС [11].

С помощью метода ВЭЖХ выявлено, что доминирующим алкалоидом маклейи сердцевидной, культивируемой в Чехии, является аллокриптопин (3,8–13,6 и 24,2–48,9 мг/г соответственно для надземной и подземной частей). Также присутствовали хелеритрин (2,9–5,7 и 3,6–10,7 мг/г соответственно для надземной и подземной частей), сангвинарин (2,9–4,3 и 2,9–10,1 мг/г) и протопин (1,1–5,1 и 0,8–5,8 мг/г для надземной и подземной частей соответственно [5]. Методом ВЭЖХ-МС идентифицированы альфа-аллокриптопин и бета-аллокриптопин в плодах *M. cordata*. В плодах *M. cordata* и *M. microcarpa* родом из Китая обнаружены хелидонин, криптопин, ваиллатин, 2-диметилкрамин, гуннеманнин, корикавидин, мурамин, корикавамин, 2,3-диметилэритопин [2, 12].

Определение алкалоидного состава также проводится с помощью других методов инструментального тестирования, таких как газовая хроматография-масс-спектрометрия (ГЖХ-МС), капиллярный электрофорез-масс-спектрометрия и ВЭЖХ-ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Для разделения и анализа изохинолиновых алкалоидов (протопин, криптопин, синактин, стилопин, бикукуллин, адлюмин, парфумин, фумарин, фумарофин, фумаритин, дигидрофумарин, парфумидин и дигидросангвинарин) успешно применяется метод ГЖХ-МС с использованием хромато-масс-спектрометра Hewlett Packard 5988A MS – HP 5980 GC, оснащенного капиллярной колонкой HP-1 (12 м × 0,2 мм; толщина пленки 0,33 м). Температурная программа колонки: 200 °C в течение 0,8 мин, увеличение со скоростью 10 °C/мин до 250 °C, затем 250 °C в течение 24 мин. Алкалоиды извлекали из ЛРС последовательно экстракцией метанолом, затем выпариванием растворителя, рас-

творением полученного остатка в кислоте хлористоводородной 2,5%, фильтрацией и подщелачиванием до pH 8 концентрированным аммиаком, экстракцией дихлорметаном [13]. Протопин количественно определяли методом ТСХ с денситометрией и спектрофотометрии в системе растворителей толуол – хлороформ-метанол – 25 % аммиак (5:3:1:1) и циклогексан – диэтиламин (9:1) [14].

Изохинолиновые алкалоиды протопин, криптопин, синактин, стилопин, бикукуллин, адлюмин, парфумин, фумарин, фумарофизин, фумаритин, дигидрофумарин, парфумидин и дигидросангвинарин были определены и идентифицированы методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии в видах *Fumaria* и *Sarcocarpnos* [15, 16].

Цель исследования – качественное обнаружение протопина в траве *Macleaya cordata* и *Macleaya microcarpa* методом ГЖХ-МС.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили образцы травы *M. cordata* и *M. microcarpa*, выращенных на опытных полях Средне-Волжского филиала ФГБНУ ВИЛАР в 2023 г.

Подготовка пробы: около 1 г (точная навеска) сырья, измельченного до размера частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями размером 7 мм, помещают в коническую колбу со шлифом объемом 150 мл, прибавляют 50 мл 70% спирта, присоединяют к обратному холодильнику и нагревают на кипящей водяной бане в течение 1 ч. Затем колбу охлаждают до комнатной температуры, полученное извлечение фильтруют в колбу объемом 50 мл через бумажный складчатый фильтр.

Анализ проводили методом ГЖХ-МС на хромато-масс-спектрометре 450GC-220MS (Varian, США) с масс-анализатором типа «ионная ловушка». Хроматографическое разделение компонентов пробы проводили на кварцевой капиллярной колонке FactorFOUR VF-5ms (30 м × 0,25 мм). Газ-носитель – гелий с постоянной скоростью потока 1,0 мл/мин. В инжектор хроматографа при температуре 200 °С (деление потока 5) вводят по 1 мкл пробы. Температурная программа колонки: 150 °С – 1 мин, нагрев до 240 °С – 10 °С/мин, изотерма при 240 °С – 30 мин. Включение ионизации на 4-й мин. Общее время анализа – 40 мин.

Идентификацию разделенных компонентов проводили с использованием библиотеки масс-спектров (NIST-08 MS Library and MS Search Program, Version 2f) и алгоритмов сравнения программного обе-

спечения Saturn (Varian). Количественную оценку осуществляли методом нормализации по площади пиков (полный ионный ток) идентифицированных соединений с использованием автоматической системы обработки.

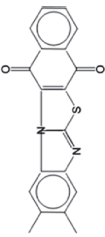
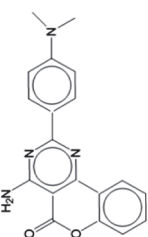
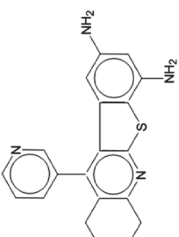
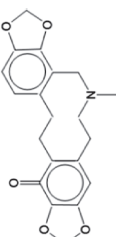
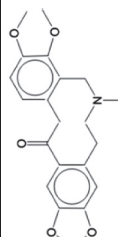
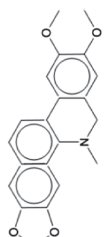
Результаты исследования и их обсуждение

Всех соединений в пробах, включая неидентифицированные, насчитывается более 90 (рисунок). С помощью анализа методом ГЖХ-МС в извлечениях из ЛРС маклей обнаружено шесть азотсодержащих соединений (таблица). Также в извлечениях были найдены соединения других классов – углеводороды C21–C25, дитерпеновый спирт фитол, который присутствует во всех зеленых растениях, эфиры фталевой кислоты, часто встречающиеся в извлечениях из ЛРС, что может быть обусловлено загрязнением почвы и воды пластиком.

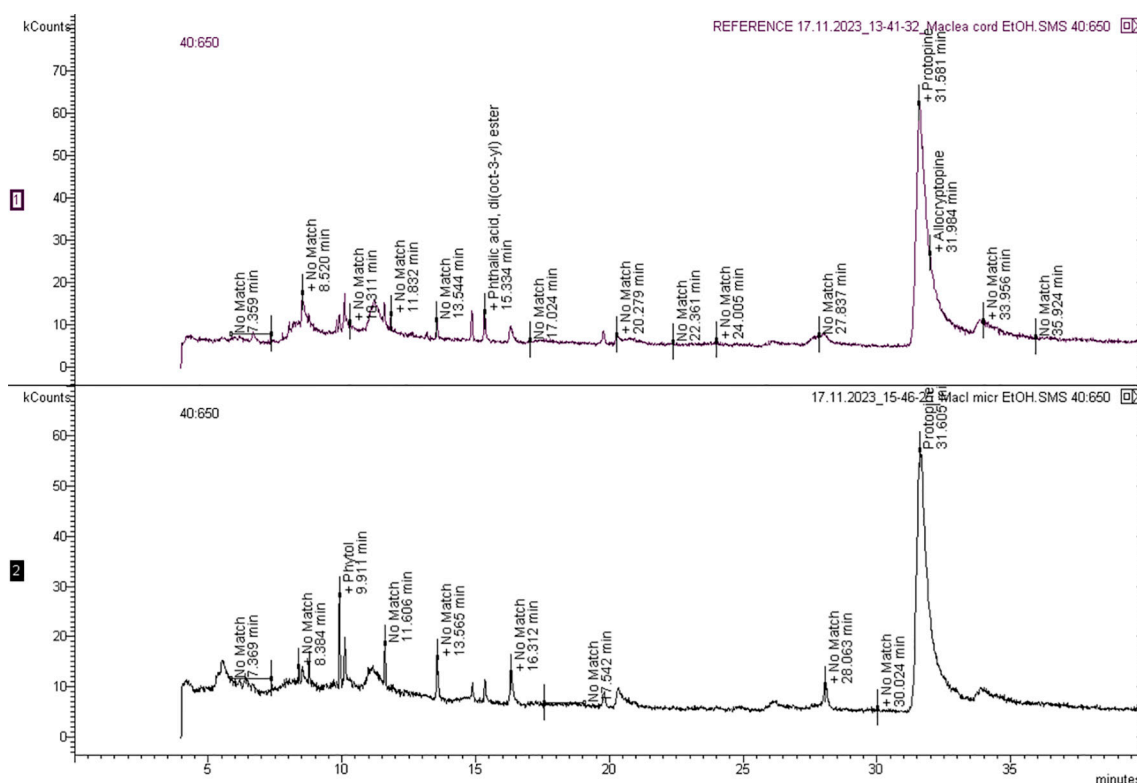
Для оптимизации хроматографического разделения алкалоидных соединений проведен подбор температурной программы, выявлено, что протопиновые алкалоиды образуют паровую фазу при температуре 240 °С, как соединения близкой химической структуры они выходят близко расположенными пиками. Выявлено, что в извлечении из образцов обоих видов маклей превалируют протопин и аллокриптопин, причем в таком из *M. cordata* содержание этих соединений заметно выше, чем в *M. microcarpa*, что явствует из площадей пиков. Отношение содержаний протопина и аллокриптопина, вычисленное по площадям пиков, составляет в ЛРС маклей сердцевидной – 1,6, в мелкоплодной – 1,3. Предложенная методика и полученные результаты позволяют использовать их при количественной оценке в пересчете на стандартный образец при его наличии.

В обоих пробах найдено азогетероциклическое соединение 2,4-диамино-7,8,9,10-тетрагидро-11-(3-пиридил)пиримидо[5',4':2',3']тиено[5,4-b]хинолин, оно может не являться нативным, так как при высоких температурах могут происходить различные процессы, приводящие к появлению дериватов и артефактов, которых нет в ЛРС, а именно окисление и другие процессы, приводящие к деградации соединений, перегруппировкам и т.д. В извлечении из *M. cordata* также найдены алкалоид дигидронитидин, а также бензо[f]бензимидазоло[2,1-b]бензотиазол и 4-амино-2-[p-(диметиламино)фенил]-5H-1]бензопирано[4,3-d]пиримидин-5-он, которые также могут как быть нативными соединениями, так и являться артефактами.

Протопиновые алкалоиды и азотсодержащие соединения *Macleana*, идентифицированные методом ГЖХ-МС

№	Время удерживания	Название вещества	Формула вещества	<i>Macleana cordata</i> (Willd.) R. Br.)		<i>Macleana microcarpa</i> (Maxim.) Fedde		CAS	R. Match
				Площадь пика	Содержание	Площадь пика	Содержание		
1	13.639	Бензо[f]бензимидазол [2,1-b]бензотиазол		54590	2.1	–	–	296885-53-5	735
2	13.674	4-Амино-2-[p-(диметиламино)фенил]-5Н-[1]бензопирано[4,3-d]пиримидин-5-он		198505	7.638	–	–	326444-52-3	758
3	15.827	2,4-Диамино-7,8,9,10-тетрагидро-11-(3-пиридил)пиримидо [5',4':2',3']тиено [5,4-b]хинолин		270672	10.414	2090	0.61	159717-99-4	790
4	31.587	Протопин		663014	25.516	313125	10.798	485-91-6	800
5	31.623	Аллокриптопин		393186	15.130	235150	8.248	130-86-9	805
6	34.021	Дигидронитидин		4093	0.157	–	–	13063-06-4	772

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.



Хроматограммы извлечений из *Macleaya cordata* (верхняя) и *Macleaya microcarpa* (нижняя)
Источник: составлено автором по результатам данного исследования

Существование в растении второго соединения из вышеуказанных вполне возможно, так как известно, что кольцевая система бензотиазола первоначально была обнаружена в различных морских и других природных соединениях, такие соединения широко используются в качестве антиоксидантов, регуляторов роста растений, противовоспалительных средств, ингибиторов ферментов и др. благодаря своей высокой фармацевтической и биологической активности [17].

Закключение

Предложена методика качественного обнаружения протопиновых алкалоидов в образцах травы маклейи методом ГЖХ-МС. При наличии стандартного образца анализируемые вещества можно оценивать количественно.

В извлечениях из ЛРС *M. cordata* и *M. microcarpa* обнаружено шесть азотсодержащих соединений – протопиновые алкалоиды – протопин и аллокриптопин, дигидронитидин обнаружен только в извлечении из ЛРС *M. cordata*.

В обоих пробах найдено азогетероциклическое соединение 2,4-диамино-7,8,9,10-тетрагидро-11-(3-пиридил)пирими-

до[5',4':2',3']тиено[5,4-b]хинолин, а также бензо[f]бензимидазоло[2,1-b]бензотиазол и 4-амино-2-[p-(диметиламино)фенил]-5H-1]бензопирано[4,3-d]пиримидин-5-он, которые также могут как быть нативными соединениями, так и являться артефактами.

Список литературы

1. Абизов Е.А., Толкачёв О.Н., Копылова И.Е., Лыферов А.Н. Распределение суммы алкалоидов сангвинарина и хелеритрина в надземной части *Macleaya microcarpa* (Maxim.) Fedde (Papaveraceae) // Химико-фармацевтический журнал. 2003. Т. 37 (8). С. 18–19.
2. Lin L., Liu Y.C., Huang J.L., Liu X.B., Qing Z.X., Zeng J.G., Liu Z.Y. Medicinal plants of the genus *Macleaya* (*Macleaya cordata*, *Macleaya microcarpa*): A review of their phytochemistry, pharmacology, and toxicology // Phytother Res. 2018. Vol. 32 (1). P. 19–48. DOI: 10.1002/ptr.5952.
3. Huang J., Yue M., Yang Y., Liu Y., Zeng J. Protopine-Type Alkaloids Alleviate Lipopolysaccharide-Induced Intestinal Inflammation and Modulate the Gut Microbiota in Mice // Animals (Basel). 2024. Vol. 14 (15). P. 2273. DOI: 10.3390/ani14152273.
4. Dong Z., Wang Y.H., Tang Z.S., Li C.H., Jiang T., Yang Z.H., Zeng J.G. Exploring the Anti-inflammatory Effects of Protopine Total Alkaloids of *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. // Front Vet Sci. 2022. Vol. 9. № 6. P. 935201. DOI: 10.3389/fvets.2022.935201.
5. Petruczynik A., Plech T., Tuzimski T., Misiurek J., Kaproń B., Misiurek D., Szultka-Młyńska M., Buszewski B., Waksmundzka-Hajnos M. Determination of Selected Isoquinoline Alkaloids from *Mahonia Aquifolia*; *Meconopsis Cambrica*; *Corydalis Lutea*; *Dicentra Spectabilis*; *Fumaria Officinalis*;

- Macleaya Cordata* Extracts by HPLC-DAD and Comparison of Their Cytotoxic Activity // *Toxins* (Basel). 2019. Vol. 11 (10). P. 575. DOI: 10.3390/toxins11100575.
6. Nie C., Wang B., Wang B., Lu N., Yu R., Zhang E. Protopine triggers apoptosis via the intrinsic pathway and regulation of ROS/PI3K/Akt signalling pathway in liver carcinoma // *Cancer Cell Int.* 2021. Vol. 21 (1). P. 396.
 7. Lu L., Pang M., Chen T., Hu Y., Chen L., Tao X., Chen S., Zhu J., Fang M., Guo X., Lin Z. Protopine Exerts Neuroprotective Effects on Neonatal Hypoxic-Ischemic Brain Damage in Rats via Activation of the AMPK/PGC1 α Pathway // *Drug Des Devel Ther.* 2024. Vol. 18. P. 4975–4992. DOI: 10.2147/DDDT.S484969.
 8. Pěňčíková K., Urbanová J., Musil P., Táborská E., Gregorová J. Seasonal Variation of Bioactive Alkaloid Contents in *Macleaya microcarpa* (Maxim.) Fedde // *Molecules*. 2011. Vol. 16. P. 3391–3401. DOI: 10.3390/molecules16043391.
 9. Zhou X., Peng Y., Zhou H., Wang W., Yi G., Xia Q., Guo Y., Xie L. Profiling 32 alkaloid compounds from *Macleaya cordata* by UPLC-DAD-QTOF-MS/ms // *Nat Prod Res.* 2024. P. 1–8. DOI: 10.1080/14786419.2024.2408409.
 10. Huang W., Kong L., Cao Y., Yan L. Identification and Quantification, Metabolism and Pharmacokinetics, Pharmacological Activities, and Botanical Preparations of Protopine: A Review // *Molecules*. 2022. Vol. 27 (1). P. 215. DOI: 10.3390/molecules27010215.
 11. Berkov S., Bastida J., Nikolova M., Viladomat F., Codina C. Rapid TLC/GC-MS identification of acetylcholinesterase inhibitors in alkaloid extracts // *Phytochem Anal.* 2008. Vol. 19. № 5. P. 411–419. DOI: 10.1002/pca.1066.
 12. Dong Z., Liu M., Zhong X., Ou X., Yun X., Wang M., Ren S., Qing Z., Zeng J. Identification of the Trace Components in Bopuzong Jian and *Macleaya cordata* Extract Using LC-MS Combined with a Screening Method // *Molecules*. 2021. Vol. 26 (13). P. 3851. DOI: 10.3390/molecules26133851.
 13. Qing Z.X., Cheng P., Liu X.B., Liu Y.S., Zeng J.G. Systematic identification of alkaloids in *Macleaya microcarpa* fruits by liquid chromatography tandem mass spectrometry combined with the isoquinoline alkaloids biosynthetic pathway // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2015. Vol. 103. P. 26–34.
 14. Suau R., Cabezudo B., Rico R., Nájera F., López-Romero J.M. Direct determination of alkaloid contents in *Fumaria species* by GC-MS // *Phytochem Anal.* 2002. Vol. 13 (6). P. 363–367. DOI: 10.1002/pca.669.
 15. Fafal T., Önur M.A. Determination of protopine in *Fumaria densiflora* DC by TLC densitometric and spectrophotometric method // *Ankara Ecz. Fak. Derg.* 2007. Vol. 36 (4). P. 223–235.
 16. Suau R., Cabezudo B., Valpuesta M., Posadas N., Diaz A., Torres G. Identification and quantification of isoquinoline alkaloids in the genus *Sarcocapnos* by GC-MS. // *Phytochem. Anal.* 2005. Vol. 16. P. 322–327.
 17. Gao X., Liu J., Zuo X., Feng X., Gao Y. Recent Advances in Synthesis of Benzothiazole Compounds Related to Green Chemistry // *Molecules*. 2020. Vol. 25 (7). P. 1675. DOI: 10.3390/molecules25071675.

СТАТЬЯ

УДК 54.05:546.57

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАЛЬДЕГИДА ПЕКТОВОЙ КИСЛОТЫ

Серикова Л.В., Прохоренко В.А., Ли С.П., Худайбергенова Э.М.

*Институт химии и фитотехнологий Национальной академии наук
Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: luda-0720@mail.ru*

В работе представлен *in situ* метод синтеза наночастиц серебра с использованием производного пектина – диальдегида пектовой кислоты. Диальдегид – производное пектина использовали одновременно для восстановления ионов серебра до нульвалентного состояния и для стабилизации получающихся наночастиц, что привело к образованию наногелей, состоящих из наночастиц серебра, окруженных оболочкой из окисленного пектина. Изучено влияние параметров реакции на свойства синтезированных наночастиц. Полученные наногели, содержащие наночастицы серебра, были исследованы методами УФ-, ИК-спектроскопии. При увеличении времени реакции содержание альдегидов снижается. При этом в реакцию вступает большее количество ионов серебра, что приводит к уменьшению количества непрореагировавших альдегидных групп. Также при увеличении времени реакции снижается оптическая плотность растворов, что подтверждает, что альдегидные группы восстанавливают нитрат серебра до наносеребра. Структурные и морфологические характеристики анализировались методами рентгеновской дифрактометрии и сканирующей электронной микроскопии соответственно. Определен размер кристаллов синтезированного наносеребра. Средний размер структурной единицы полученных наногелей варьировался в широких значениях, а размер самих серебряных наночастиц в геле изменялся в зависимости от времени реакции. Определено, что в начале реакции размер частиц увеличивается быстро и стабилизируется после некоторого промежутка времени.

Ключевые слова: наноразмерное серебро, окисленный пектин, наносеребряный гель

SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING DIALDEHYDE OF PECTIC ACID

Serikova L.V., Prokhorenko V.A., Li S.P., Khudaibergenova E.M.

*Institute of Chemistry and Phytotechnologies of the National Academy of Sciences
of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: luda-0720@mail.ru*

The paper presents an *in-situ* method for the synthesis of silver nanoparticles using a pectin derivative – pectic acid dialdehyde. A dialdehyde derivative of pectin was used simultaneously to reduce silver ions to the zero-valent state and to stabilize the resulting nanoparticles, resulting in the formation of nanogels consisting of silver nanoparticles surrounded by a shell of oxidized pectin. The influence of reaction parameters on the properties of synthesized nanoparticles was studied. The obtained nanogels containing silver nanoparticles were studied by UV and IR spectroscopy. As the reaction time increases, the aldehyde content decreases. In this case, a larger number of silver ions enter into the reaction, which leads to a decrease in the number of unreacted aldehyde groups. Also, with an increase in the reaction time, the optical density of the solutions decreases, which confirms that aldehyde groups reduce silver nitrate to nanosilver. The structural and morphological characteristics were analyzed by X-ray diffractometry and scanning electron microscopy, respectively. The crystal size of the synthesized nanosilver was determined. The average size of the structural unit of the obtained nanogels varied widely, and the size of the silver nanoparticles in the gel changed depending on the reaction time. It was determined that at the beginning of the reaction the particle size increased rapidly and stabilized after a certain period of time.

Keywords: nano silver, oxidized pectin, nano silver gel

Введение

Несмотря на большое количество работ, наночастицы серебра остаются весьма интересным объектом для исследования, так как они обладают антимикробными, антигрибковыми и противовирусными свойствами, характеризуются низкой токсичностью по отношению к живым организмам и успешно применяются в различных областях медицины. Для синтеза серебряных наночастиц используются различные восстанавливающие сахара, такие как глюкоза, фруктоза и сахароза [1]. Проводятся иссле-

дования по контролируемому синтезу серебряных наноструктур из AgNO_3 с использованием различных природных полимеров [2; 3], как с применением, так и в отсутствие стабилизирующих агентов [4; 5]. Огромное внимание уделяется антибактериальной активности наночастиц серебра [6; 7]. Разработаны гидрогели из хитозана, желатина и наносеребра [8-10]. Такие гели потенциально применимы как повязки для ран [11-13]. При этом природные полимеры служат как восстановителем, так и стабилизатором. Такое восстановление серебряной

соли до металлического серебра проводится *ex situ*. Однако для использования наносеребряных материалов на практике огромную значимость представляет разработка методом *in situ*, при котором серебряные наночастицы формируются непосредственно в системе, что снижает цитотоксичность. Пектин, природный полисахарид, обладающий такими свойствами, как биосовместимость, нетоксичность, также широко используется в фармакологии и медицине. При периодатном окислении пектин обогащается альдегидными группами, что делает его еще более реакционноспособным.

Целью настоящего исследования является синтез и характеристика стабильных наночастиц серебра *in situ*, полученных восстановлением нитрата серебра под воздействием альдегидпроизводного пектина – диальдегида пектовой кислоты.

Материалы и методы исследования

Для эксперимента использовались коммерческие препараты свекловичного пектина, изопропилового спирта, нитрата серебра и йодной кислоты (Индия). Все остальные химические вещества имели аналитическую степень чистоты. Для всех экспериментов использовалась бидистиллированная вода.

Окисление пектина йодной кислотой. 3 мл 0,5 М раствора йодной кислоты добавляли к 2%-ному раствору пектина в дистиллированной воде. pH среды регулировался до значения 3,5 с использованием разбавленной соляной кислоты и раствора гидрокарбоната натрия. Реакцию проводили при температуре 40 °С при постоянном перемешивании в течение 16 часов. Для предотвращения автоокисления под действием света колбу с реакционной смесью оборачивали алюминиевой фольгой и проводили реакцию в темноте. В конце реакции диальдегид пектовой кислоты осаждали изопропиловым спиртом в избыточном количестве, фильтровали и высушивали в вакууме при 60 °С. Содержание альдегидных групп в полученном окисленном пектине составило 10,18 ммоль/г.

Восстановление нитрата серебра диальдегид производным пектина. 1 мас.% нитрата серебра (AgNO_3) добавляли к 2,8%-ному раствору диальдегида пектовой кислоты (начальное содержание альдегидов – 10,18 ммоль/г). Реакцию проводили при постоянном перемешивании в течение заранее заданных промежутков времени. Температура реакции поддерживалась на уровне 60 °С. Чтобы предотвратить автоокисление нитрата серебра под действием света, колбу с реакционной смесью оборачивали алю-

миниевой фольгой. В конце реакции полученный наноконкомплекс диальдегид пектовой кислоты – наносеребро (ДАПК-НС) осаждали избытком изопропилового спирта, отделяли фильтрацией и высушивали в вакууме при 60 °С.

Расчет количества альдегидных групп, вступивших в реакцию. Количество израсходованных альдегидных групп при восстановлении нитрата серебра рассчитывалось с использованием метода на основе 2,4-динитрофенилгидразина. 100 мл 0,3% раствора ДАПК-НС добавляли к 10 мл свежеприготовленного раствора динитрофенилгидразина, перемешивали и оставляли при комнатной температуре на 1 час, затем центрифугировали при 7000 об./мин. в течение 10 минут и измеряли оптическую плотность не вступившего в реакцию динитрофенилгидразина в надосадочной жидкости при длине волны $\lambda = 326,4$ нм на УФ-спектрофотометре Perkin Elmer Lambda 35. Количество израсходованных альдегидных групп рассчитывали по формуле:

$$\begin{aligned} \text{содержание альдегидных групп (ммоль/г)} &= \\ &= (2 \times \text{прореагировавший} \\ &\text{динитрофенилгидразин (ммоль/г)}) \times \\ &\times 646 / (3 \times 10^{-4} \times 198,14 \times 5). \end{aligned}$$

Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR). FTIR-спектры образцов окисленного пектина с иммобилизованным наносеребром, полученных при различном времени восстановления, записывали в виде таблеток с KBr в диапазоне 4000–400 см^{-1} и разрешением 2 см^{-1} на спектрометре Perkin Elmer Spectrum-BX FTIR.

УФ-спектрофотометрия. Образцы полученных растворов наногелей ДАПК-НС с различным временем восстановления анализировались при длине волны 300–600 нм на спектрофотометре Perkin Elmer Lambda 35.

Энергодисперсионный рентгеновский анализ. Для определения элементного состава в матрицах ДАПК-НС проводился энергодисперсионный рентгеновский анализ. Образцы размещались на алюминиевом держателе и покрывались углеродом с помощью установки Auto-Fine Coater JFC-1600 (Joel, USA Inc., США). Изображения и содержание серебра в образцах определялись с использованием энергодисперсионной рентгеновской системы Bruker-AXS (модель QuanTax 200) на базе технологии SDD, США.

Рентгеновская дифракция. Широкоугольные рентгеновские дифракционные спектры были получены с использованием прибора PANalytical X'Pert PRO при 40 кВ и 40 мА с использованием герметичной

трубки и излучения $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). Размер кристаллитов (L) синтезированных частиц наносеребра рассчитывался по уравнению Шеррера:

$$L = (0,94 \times \lambda) / (\beta \times \cos\theta),$$

где β – ширина линии дифракции на половине максимальной интенсивности (в радианах), λ – длина волны рентгеновского излучения ($1,54 \text{ \AA}$), а θ – угол Брэгга (в градусах).

Распределение наночастиц по размерам изучалось методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе JSM 6490 LV.

Результаты исследования и их обсуждение

Пектин – это анионный полисахарид с соседними диольными группами в основной цепи, которые могут подвергаться окислению с использованием йодной кислоты. Подобно другим восстанавливающим сахарам, таким как фруктоза и глюкоза, альдегидные группы, введенные в пектин, способны восстанавливать нитрат серебра до металлического серебра. Схематическое изображение этого процесса представлено ниже.

Схема 1.

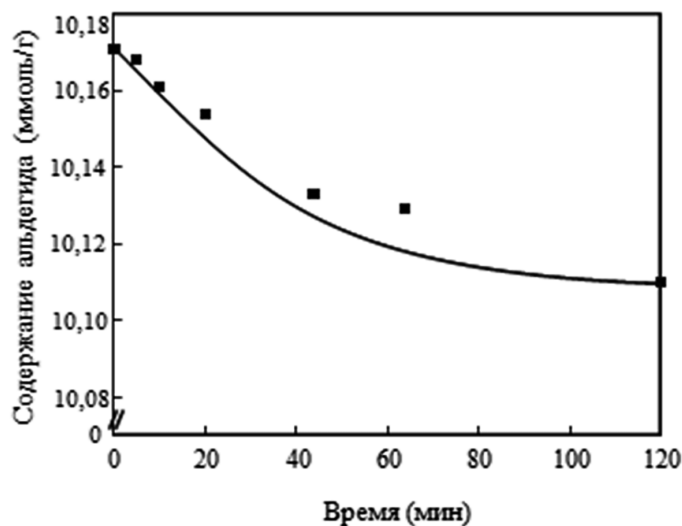
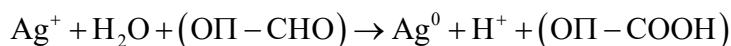
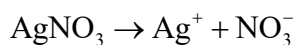


Рис. 1. Изменение содержания альдегидных групп в зависимости от времени реакции, начальное содержание альдегида 10,18 ммоль/г, температура реакции 60°C, pH 4
Примечание: составлено авторами

Кроме того, окисленный пектин действует как стабилизатор для частиц наносеребра благодаря своей длинноцепочечной структуре. Внедрение наносеребра в матрицу путём *in situ* восстановления предполагает улучшение характеристик этих систем по доставке лекарств и уходу за ранами [14]. Превращение нитрата серебра в наносеребро происходит практически мгновенно, о чём свидетельствует изменение цвета.

С увеличением времени реакции цвет постепенно меняется, что обусловлено различной морфологией образующихся наночастиц. Определялось количество потреблён-

ного альдегида в зависимости от времени реакции (рис. 1). Начальное содержание альдегидов в пектине составляло 10,18 ммоль/г.

Реакция начинается практически сразу, что видно по снижению содержания альдегидов уже через 5 минут. При увеличении времени реакции с 5 до 120 минут содержание альдегидов снижается с 10,18 до 10,08 ммоль/г. При этом в реакцию вступает большее количество ионов серебра, что приводит к уменьшению количества непрореагировавших альдегидных групп. Более стабильное состояние достигается примерно через 60 минут.

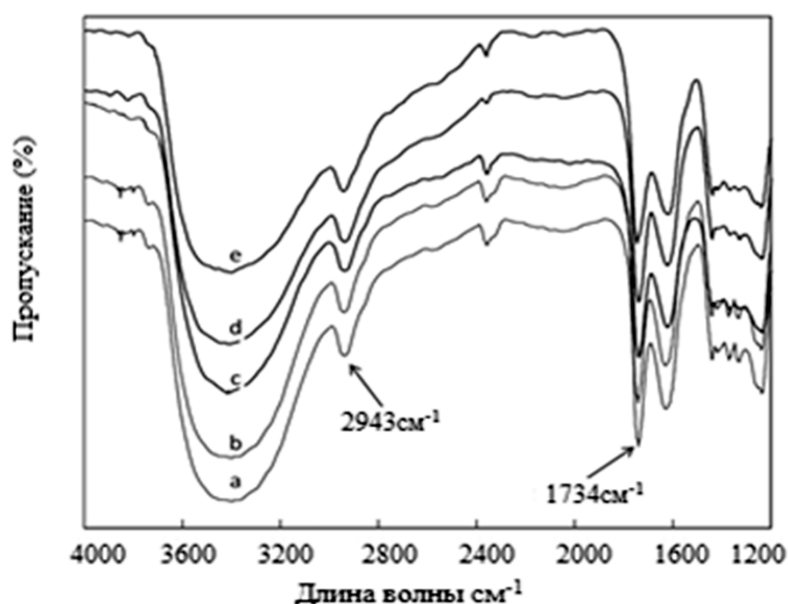


Рис. 2. FTIR-спектры образцов окисленного пектина с иммобилизованным наносеребром в зависимости от времени реакции: (a) диальдегид пектовой кислоты, (b) 10 мин., (c) 40 мин., (d) 60 мин., (e) 120 мин. Исходное содержание альдегидных групп 10,18 ммоль/г, температура реакции 60°C, pH 4
Примечание: составлено авторами

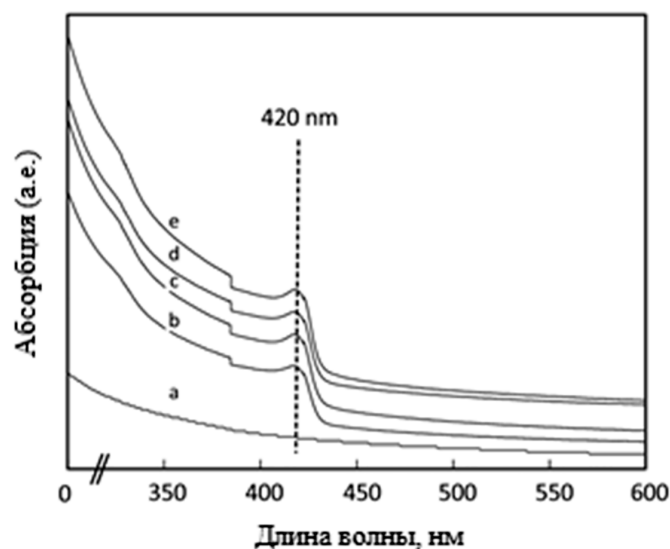


Рис. 3. УФ-спектры ДАПК-НС растворов при различном времени реакции: (a) чистый диальдегид пектовой кислоты, (b) 5 мин., (c) 20 мин., (d) 60 мин., (e) 120 мин. Начальное содержание альдегидных групп 10,18 ммоль/г, температура реакции 60°C, pH 4
Примечание: составлено авторами

На рисунке 2 представлены инфракрасные спектры Фурье (FTIR) преобразования ДАПК-НС наногидрогелей при различном времени восстановления. Пик на 1734 cm^{-1} соответствует колебаниям карбонильной группы альдегида в окисленном пектине. После восстановления нитрата се-

ребра до нульвалентного состояния интенсивность пика снижается.

Оптическая плотность пика альдегидных колебаний рассчитывалась относительно поглощения CH_2 при 2943 cm^{-1} . При увеличении времени реакции с 10 до 120 минут оптическая плотность снижается

с 1,596 до 1,231, что подтверждает, что альдегидные группы восстанавливают нитрат серебра до наносеребра.

На рисунке 3 представлены спектры УФ-видимого излучения для систем ДАПК-НС при различном времени реакции. Четко наблюдается ярко выраженный резонансный пик около 420 нм, относящийся к наносеребру. Интенсивность резонансного пика возрастает с увеличением времени реакции, что указывает на рост концентрации наносеребра в системе.

В спектрах энергодисперсионного рентгеновского анализа для ДАПК-НС наногидрогеля (время реакции – 120 минут) присутствует пик на 3 кэВ, что соответствует серебру. Поскольку непрореагировавший AgNO_3 растворяется в воде и изопропиловом спирте во время осаждения, можно предположить, что серебро, обнаруженное

методом энергодисперсионного рентгеновского анализа, находится исключительно в металлической форме.

Кристаллическая структура синтезированных ДАПК-НС наногидрогелей была исследована с использованием рентгеновской дифрактометрии (рис. 4).

Пики при $2\theta = 39,23^\circ$, $43,77^\circ$ и $76,87^\circ$ соответствуют кристаллическим плоскостям (111), (200) и (311) серебра соответственно, что указывает на гранецентрированную кубическую кристаллическую структуру. Размер кристаллитов (L), рассчитанный по уравнению Шеррера, составил 26 нм. Широкий пик при $2\theta = 22,31^\circ$ обусловлен кристаллической структурой пектина [15; 16].

На рисунке 5 представлены снимки просвечивающей электронной микроскопии синтезированных ДАПК-НС наногидрогелей.

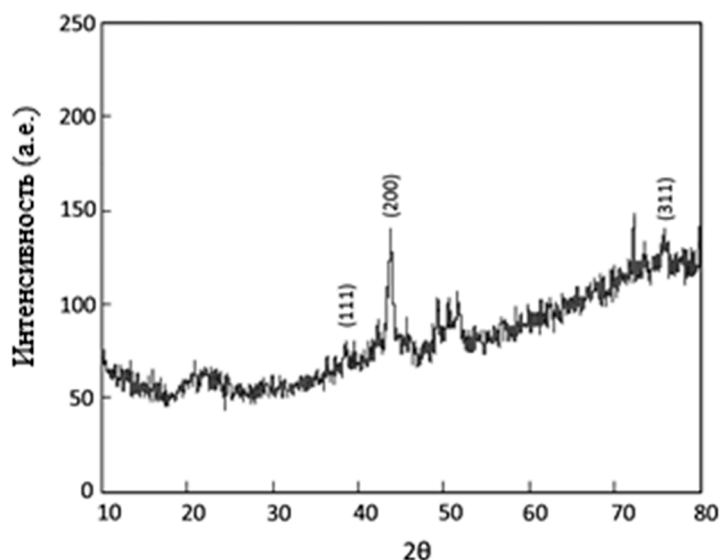


Рис. 4. X-лучевая дифрактограмма частиц ДАПК-НС. Начальное содержание альдегидных групп 10,18 ммоль/г, время реакции 40 мин., температура реакции 60°C , pH 4
Примечание: составлено авторами

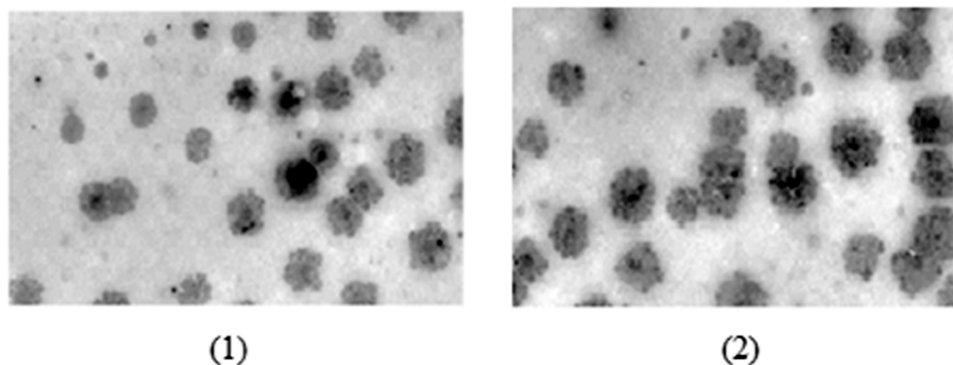


Рис. 5. Просвечивающая электронная микроскопия для частиц ДАПК-НС: (1) 5 мин., (2) 120 мин. Начальное содержание альдегидных групп 10,18 ммоль/г, температура реакции 60°C , pH 4
Примечание: составлено авторами

Предполагается, что тёмное ядро соответствует наносеребру, а облако вокруг – это полимерные «лепестки» диальдегида пектовой кислоты. Известно, что структура типа «ядро – оболочка» способствует лучшей антимикробной активности наночастиц металлов. Средний размер ядра и ядра с оболочкой у наногидрогеля ДАПК-НС при времени реакции 5 минут составляет 102 нм и 352 нм соответственно. При увеличении времени реакции полимерная оболочка диальдегида пектовой кислоты подвергается фрагментации.

Заключение

В настоящей работе представлен *in situ* метод синтеза наносеребра в среде диальдегида пектовой кислоты, предварительно полученной окислением пектина йодной кислотой. Нитрат серебра был восстановлен до металлического серебра альдегидными группами, присутствующими в окисленном пектине. Благодаря своей длинноцепочечной структуре диальдегид пектовой кислоты одновременно выполняет функцию стабилизатора наночастиц серебра. Это приводит к образованию наногидрогелей типа «ядро – оболочка» ДАПК-НС. Согласно данным рентгеновской дифрактометрии, синтезированное наносеребро обладает графическим кубической кристаллической структурой со средним размером кристаллитов 26 нм. Увеличение продолжительности реакции вызывает возрастание среднего размера частиц полученного наногидрогеля. Средний размер структурной единицы гидрогеля варьировался от 140 до 320 нм, а размер самих наночастиц серебра изменялся от 100 до 180 нм в зависимости от времени реакции. В начальной стадии реакции размер частиц увеличивается быстро до 40 минут, после чего стабилизируется. При увеличении времени реакции полимерная оболочка диальдегида пектовой кислоты подвергается фрагментации.

Список литературы

1. Baksi A., Gandhi M., Chaudhari S., Bag S., Gupta S.S., Pradeep T. Extraction of silver by glucose // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2016. Vol. 55. P. 7777–7781. DOI: 10.1002/anie.201510122.
2. Amooaghaie R., Saeri M.R., Azizi M. Synthesis, characterization and biocompatibility of silver nanoparticles synthesized from *nigella sativa* leaf extract in comparison with chemical silver nanoparticles // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2015. Vol. 120. P. 400–408. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.06.025.
3. Bagherzade G., Tavakoli M.M., Namaei M.H. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.) wastages and its antibacterial activity against six bacteria. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* 2017. Vol. 7. P. 227–233. DOI: 10.1016/j.apjtb.2016.12.014.
4. Al-Muhanna M.K.A., Hileuskaya K.S., Kulikouskaya V.I., Kraskouski A.N., Agabekov V.E. Preparation of stable sols of silver nanoparticles in aqueous pectin solutions and properties of the sols // *Colloid Journal.* 2015. Vol. 1. 77. № 6. P. 677–684. DOI: 10.1134/S1061933X15060022.
5. Mythili Tummalapalli, Deopura B.L., Alam M.S., Bhuvanesh Gupta. Facile and green synthesis of silver nanoparticles using oxidized pectin // *Materials Science and Engineering.* 2015. Vol. P. 31–36. DOI: 10.1016/j.msec.2015.01.055.
6. Нечаева О.В., Шульгина Т.А., Зубова К.В., Глинская Е.В., Беспалова Н.В., Дарьин Н.И., Тихомирова Е.И., Афиногенова А.Г. Антимикробная активность водных дисперсий наночастиц серебра в отношении возбудителей гнойно-воспалительных заболеваний // *Инфекция и иммунитет.* 2022. Т. 12. № 4. С. 755–764. DOI: 10.15789/2220-7619-AAO-1937.
7. Gabrielyan L.S., Trchounian A.A. Antibacterial properties of silver nanoparticles and their membranotropic action // *Journal of the Belarusian State University. Biology.* 2020. Vol. 3. P. 64–71. Russian. DOI: 10.33581/2521-1722-2020-3-64-71.
8. Kalaivani R., Maruthupandy M., Muneeswaran T., Hameedha Beevi A., Anand M., Ramakritinan C.M., Kumaraguru A.K. Synthesis of chitosan mediated silver nanoparticles (Ag NPs) for potential antimicrobial applications // *Front. Lab. Med.* 2018. Vol. 2. P. 30–35. DOI: 10.1016/j.flm.2018.04.002.
9. Александрова В.А., Футорянская А.М., Садыкова В.С. Синтез и антибактериальная активность наночастиц серебра, стабилизированных сукцинимидом хитозана // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2020. Т. 56. № 5. С. 497–502. DOI: 10.31857/S0555109920050025.
10. Kumar S., Shukla A., Baul P.P., Mitra A., Halder D. Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications // *Food Packag. Shelf.* 2018. Vol. 16. P. 178–184. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.03.008.
11. Shao Y., Wu C., Wu T., Yuan C., Chen S., Ding T., Ye X., Hu Y. Green synthesis of sodium alginate-silver nanoparticles and their antibacterial activity // *Int. J. Biol. Macromol.* 2018. Vol. 111. P. 1281–1292. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.012.
12. Kejlová K., Kašpárková V., Krsek D., Jírová D., Kolářová H., Dvořáková M., Tománková K., Mikulcová V. Characteristics of silver nanoparticles in vehicles for biological applications // *Int. J. Pharm.* 2015. Vol. 496. P. 878–885. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2015.10.024.
13. Мамедов Э.И., Дергунова Е.С., Калмыкова Е.Н. Возможности биомедицинского применения модифицированных пектинов // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2021. Т. 21. С. 77–85. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3222.
14. Pallavicini P., Arciola, C.R., Bertoglio F., Curtosi S., Dacarro G., D'Agostino A., Ferrari F., Merli D., Milanese C., Rossi S., et al. Silver Nanoparticles Synthesized and Coated With Pectin: An Ideal Compromise for Anti-Bacterial and Anti-Biofilm Action Combined With Wound-Healing Properties // *J. Colloid Interface Sci.* 2017. Vol. 498. P. 271–281. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.03.062.
15. Bhuvanesh Gupta, Mythili Tummalapalli, Deopura B.L., Alam M.S. Preparation and characterization of in-situ cross-linked pectin–gelatin hydrogels // *Carbohydrate Polymers.* 2014. Vol. 106. P. 312–318. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.02.019.
16. Qu R., Gao J., Tang B., Ma Q., Qu B., Sun C. Preparation and property of polyurethane/nanosilver complex fibers // *Appl. Surf. Sci.* 2014. Vol. 294. P. 81–88. DOI: 10.1016/j.apusc.2013.11.116.