

**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 = 0,564

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,312

№ 9 2022

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.

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

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); 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 ВИНТИ.

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 = 0,564.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,312.

Учредитель, издательство 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)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

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 – 30.09.2022

Дата выхода номера – 14.10.2022

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 12,75

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2022/9

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ИНОСТРАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ИХ БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ	7
<i>Шамитова Е.Н., Юманов О.Д., Габайдуллина В.В., Юманов А.О.</i>	

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АСТРОЦИТОВ СЕНСОМОТОРНОЙ КОРЫ БЕЛЫХ КРЫС ПОСЛЕ ПЕРЕВЯЗКИ ОБЩИХ СОННЫХ АРТЕРИЙ	12
<i>Макарьева Л.М., Степанов С.С., Акулинин В.А.</i>	
НЕКОТОРЫЕ ИММУНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИРЕОПАТОЛОГИИ	19
<i>Плескановская А.С., Оразалиева А.М., Ламанова Д.Б.</i>	
ПРОЯВЛЕНИЯ НОВОЙ ИНФЕКЦИИ COVID-19 У ДЕТЕЙ	24
<i>Прокудина М.П., Лобанов Ю.Ф., Скударнов Е.В., Диль О.М., Болденкова И.Ю., Скударнова А.П.</i>	
АРТЕРИО-КИШЕЧНАЯ ФИСТУЛА – ПРИЧИНА КРОВОТЕЧЕНИЯ	30
<i>Федотова Е.В., Петрушин А.Л., Попов В.А., Анкудинова И.С., Авалиани В.М., Хидиятов И.И.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАСТВОРА СЕРЕБРА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКОГО ПЕРИОДОНТИТА МЕТОДОМ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ	36
<i>Шайымбетова А.Р., Юлдашев И.М., Сулайманкулова С.К.</i>	

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОН С ПОВЫШЕННОЙ ГАЗООТДАЧЕЙ	40
<i>Муллагалиева Л.Ф., Баймухаметов С.К., Портнов В.С., Юров В.М., Мадииева Р.К.</i>	
ПОЛИМЕРНОЕ ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	47
<i>Филиппова Л.С., Акимова А.С.</i>	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРНОЙ ВЫЕМКИ	52
<i>Цыганков Д.А.</i>	
РАЗРАБОТКА МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ШЛАКОВАНИЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ КОТЛОВ ТП-87 НОВО-КЕМЕРОВСКОЙ ТЭЦ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В SIGMA FLAME	57
<i>Чергинец О.А., Дворовенко И.В., Богомоллов А.Р., Темникова Е.Ю.</i>	

ДИАГНОСТИКА МЕЛАНОМЫ ПУТЕМ АНАЛИЗА ДЕРМАТОСКОПИЧЕСКОГО
ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Чудаков Г.А., Джунковский А.В. 63

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА

Янковский С.А., Мисюкова А.Д. 70

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

НЕТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ФРУКТОВЫХ СОКОВ

Бурак Л.Ч. 75

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ
МНОГОПРОФИЛЬНОГО СТАЦИОНАРА

Богданова О.Ю., Черных Т.Ф., Цветкова И.А. 86

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ
ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ

Горбунов А.А., Емельянов В.М., Леднев А.К. 91

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

АКТИВИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ ОСНОВ И РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОМПОЗИЦИОННЫХ АНОДОВ В УСЛОВИЯХ РЕГЕНЕРАЦИИ
ОТРАБОТАННЫХ СЕРНОКИСЛЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Бачаев А.А., Смирнова В.М., Иванова О.М., Ивашкин Е.Г. 96

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLE

- IMPORT SUBSTITUTION OF FOREIGN COMPOSITE MATERIALS
ACCORDING TO THEIR BIOCHEMICAL COMPOSITION
Shamitova E.N., Yumanov O.D., Gabaydullina V.V., Yumanov A.O. 7

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

- STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHANGES
IN ASTROCYTES OF THE SENSORIMOTOR CORTEX
OF WHITE RATS AFTER LANGING THE COMMON SON ARTERIES
Makareva L.M., Stepanov S.S., Akulinin V.A. 12
- SOME IMMUNE-MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THYROID PATHOLOGY
Pleskanovskaya A.S., Orazalieva A.M., Lamanova D.B. 19
- MANIFESTATIONS OF NEW COVID-19 INFECTION IN CHILDREN
*Prokudina M.P., Lobanov Yu.F., Skudarnov E.V.,
Dil O.M., Boldenkova I.Yu., Skudarnova A.P.* 24
- ARTERIO-INTESTINAL FISTULA – THE CAUSE
OF THE LOW GASTROINTESTINAL BLEEDING
Fedotova E.V., Petrushin A.L., Popov V.A., Ankudinova I.S., Avaliani V.M., Khidiyatov I.I. 30
- THE USE OF SILVER NANOSOLUTION IN THE TREATMENT
OF CHRONIC PERIODONTITIS BY THE METHOD
OF PROLONGED ROOT CANAL TREATMENT
Shayymbetova A.R., Yuldashev I.M., Sulaymankulova S.K. 36

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

- METHOD OF USING THE ACOUSTIC METHOD FOR DETECTING ZONES
WITH INCREASED GAS RECOVERY
Mullagaliyeva L.F., Baymukhametov S.K., Portnov V.S., Yurov V.M., Madisheva R.K. 40
- POLYMER PROTECTIVE COATING FOR CONCRETE SURFACES
Filippova L.S., Akimova A.S. 47
- ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE RECLAMATION OF THE QUARRY
Tsygankov D.A. 52
- DEVELOPMENT OF A METHOD FOR REDUCING THE SLAGGING
OF THE BOILER SUPERHEATER TP-87 OF THE NOVO-KEMEROVO
THERMAL POWER PLANT USING SIMULATION IN SIGMA FLAME
Cherginets O.A., Dvorovenko I.V., Bogomolov A.R., Temnikova E.Yu. 57

DETERMINING THE PRESENCE OF MELANOMA
BY ANALYZING A DERMATOSCOPIC IMAGE USING
A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Chudakov G.A., Dzhunkovskiy A.V. 63

INVESTIGATION OF COMPOSITE FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS

Yankovskiy S.A., Misyukova A.D. 70

REVIEW

NON-THERMAL METHODS FOR FRUIT JUICE PRESERVATION

Burak L.Ch. 75

PHARMACEUTICAL SCIENCES

ARTICLE

MICROBIOLOGICAL EXAMINATION OF THE AIR ENVIRONMENT
OF A MULTIDISCIPLINARY HOSPITAL

Bogdanova O.Yu., Chernykh T.F., Tsvetkova I.A. 86

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLE

EQUATION OF STATE OF A BINARY MIXTURE NEAR THE CRITICAL POINT

Gorbunov A.A., Emelyanov V.M., Lednev A.K. 91

CHEMICAL SCIENCES

ARTICLE

ACTIVATION OF TITANIUM BASES AND RESOURCE CHARACTERISTICS
OF COMPOSITE ANODES UNDER CONDITIONS OF REGENERATION
OF SPENT SULFATE ELECTROLYTES

Bachaev A.A., Smirnova V.M., Ivanova O.M., Ivashkin E.G. 96

СТАТЬЯ

УДК 615.45

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ИНОСТРАННЫХ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПО ИХ БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ**

¹Шамитова Е.Н., ²Юманов О.Д., ¹Габайдуллина В.В., ¹Юманов А.О.

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: Alex.yumanov@icloud.com;

²ООО «Интерстом», Йошкар-Ола, e-mail: A.umanov@my18.ru

В статье проведен анализ иностранных и отечественных материалов по их биохимическому составу. Для реставрации зубов и восстановления их точного анатомического строения современные стоматологические клиники России используют в основном иностранные композитные материалы. Фирмы по производству данных пломбировочных материалов являются лидерами на стоматологическом рынке в связи с тем, что они одни из первых появились на рынке и сегодня производят очень большие объемы. Иностранные фирмы не дают более молодым российским фирмам по производству композитных материалов развиваться, увеличивать свои объемы производства и выходить в лидеры по продажам и производству пломбировочных материалов. Политические события в мире в последнее время оказывают сильное влияние на мировую, а особенно на российскую, экономику. Все это явилось следствием принятия Правительством РФ стратегии импортозамещения, основополагающей задачей которой стало развитие собственного производства, повышение качества российских товаров на внутреннем рынке и их конкурентоспособности на мировом рынке. Данная стратегия дает возможность отечественным стоматологическим фирмам, в частности таким, как «Владмива» и «СтомаДент», заместить заграничные аналоги и стать лидерами на российском, а в перспективе и на мировом стоматологическом рынке. Проанализировав биохимические составы иностранных и отечественных композитных материалов, получилось выявить отечественные аналоги, не уступающие по качеству заграничным композитам.

Ключевые слова: композитные материалы, импортозамещение, биохимический состав, аналоги, пломбировочные материалы

**IMPORT SUBSTITUTION OF FOREIGN COMPOSITE MATERIALS
ACCORDING TO THEIR BIOCHEMICAL COMPOSITION**

¹Shamitova E.N., ²Yumanov O.D., ¹Gabaydullina V.V., ¹Yumanov A.O.

¹Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: Alex.yumanov@icloud.com;

²Interstom LLC, Yoshkar-Ola, e-mail: A.umanov@my18.ru

The article analyzes foreign and domestic materials according to their biochemical composition. To restore teeth and restore their exact anatomical structure, modern dental clinics in Russia use mainly foreign composite materials. Since the companies producing these filling materials are leaders in the dental market due to the fact that they were one of the first to appear on the market and today produce very large volumes. Foreign firms do not allow our younger Russian companies producing composite materials to develop, increase their production volumes and become leaders in sales and production of sealing materials. Political events in the world have recently had a particularly strong impact on the world, and on the Russian economy. All this was the result of the adoption by the Government of the Russian Federation of an import substitution strategy, the fundamental task of which was the development of its own production, improving the quality of Russian goods in the domestic and their competitiveness in world markets. This strategy makes it possible for domestic, in particular, such dental firms as VladMiVa and StomaDent, to replace foreign analogues and become leaders in the Russian, and in the future, in the global dental market. After analyzing the biochemical compositions of foreign and domestic composite materials, it turned out to identify domestic analogues that are not inferior in quality to foreign composites.

Keywords: composite materials, import substitution, composition, analogues, filling materials

Терапевтическая стоматология – самая востребованная из всех стоматологических специальностей. Действительно, сейчас трудно найти человека, который ни разу не лечил бы зубы и не ставил композитные пломбы. Поддержка отечественного производителя при импортозамещении иностранных композитных материалов при лечении зубов позволит в ближайшие годы поднять на высокий уровень качество всех отечественных композитных материалов, применяемых в российской стоматологии. Мы знаем, что композиционный ма-

териал – это определение, объединяющее обширную группу материалов, которые стоматологи применяют для восстановления твердых тканей зуба. Каждая группа состоит из множества компонентов и представляет собой комбинацию основных (матрица, неорганический наполнитель) и дополнительных компонентов, причем в строго определенных пропорциях. Рабочие, физические, химические и биологические свойства композиционного материала определяются самыми различными сочетаниями компонентов [1].

Цель работы – проанализировать химический состав зарубежных и российских композитных материалов по данным, представленным в реестре лекарственных препаратов, а также выявить отечественных производителей, способных к импортозамещению.

Материалы и методы исследования

Проанализирован практический опыт применения отечественных композитных пломбировочных материалов в условиях стоматологической клиники «ИНТЕР-СТОМ» (г. Йошкар-Ола, Республика Марий-Эл) как альтернативы зарубежным композитам в стоматологии. В исследованиях использованы композитные материалы: «Diadent» (Южная Корея), «FiltekUltimate», «Filtek Z250», «Filtek Z550», «Filtek Z250UD», «FiltekBulkFillPosterior» (США), «Herculite», «Spertrum TPH», «Charisma Diamond», «CharismaOpal» (Германия), «ДентаЛайт», «ДентаЛайт Универсальный», «ДентаЛайтФлоу», «ДентаЛайтПридесневая масса», «Унирес», «Эстерлюкс НК», «Призмафил» (Россия) [2–4].

Результаты исследования и их обсуждение

В современных стоматологических клиниках используется большое количество композитных материалов от иностранных производителей: Diadent, Heraeus, 3M, Kerr, Dentsply. Данные крупные корпорации, являясь гигантами на мировом стоматологическом рынке, не дают отечественным производителям возможности ни развиваться в России, ни выйти на мировой рынок.

Причина проста: акулы мирового стоматологического рынка, являясь пионерами в производстве композитных материалов и завоевав тем самым всемирное доверие потребителя, при больших объемах производства стоматологической продукции имеют возможность демпинговать. Более того, после введения антироссийских санкций, те, с кем успешно сотрудничали наши производители, либо ушли с российского рынка и прекратили поставки продукции в РФ, либо повысили свои отпускные цены в несколько раз. В подобной ситуации именно стратегия импортозамещения, предусматривающая не только курс на замещение импорта отечественными товарами, но, что очень важно, финансовую поддержку государством молодых фирм, производящих отечественную продукцию, а также налоговые льготы для бизнеса, получила самое широкое развитие. Проанализировав биохимический состав зарубежных и отечественных композитных материалов, становится очевидно: между ними нет особых отличий ни в основных компонентах состава, ни в качестве. В приведенной ниже таблице указаны производители, композитные материалы и их биохимический состав. Наши отечественные материалы, в отличие от зарубежных, опираются на научно обоснованную школу ученых-химиков, которые в нашей стране имеют высокий уровень теоретической и практической подготовки. Это дает возможность отечественным материалам в перспективе быть гораздо эффективнее, успешнее и, что самое главное, доступнее для населения [5].

Биохимический состав иностранных и отечественных композитных материалов

Действующее вещество	Импортный препарат / производитель и состав	Российский препарат / производитель и состав
Смолы Bis-GMA, TEGDMA	Diadent (Южная Корея) Diafil Алуминосиликатный барий (средний размер частиц 1µm) Пирогенный кремний (размер частиц 0,04 µm) Триэтиленгликольдиметакрилат (TEGDMA) Бисфенол-А глицидилметакрилат (Bis-GMA) Фотоинициатор	Владива (Россия) Дентлайт-Универсальный Высокопрочная полимерная матрица, содержащая UDMA, Bis-GMA, TEGDMA и другие олигомеры: рентгеноконтрастный нанонаполнитель (80–85 мас.% или 62–65 объем.%).
Барийалюмофтористое стекло	Heraeus (Германия) CHARISMA Diamond UDMA и TCD-Di-HEA (содержит 64% наполнителя по объему 5 нм – 20 мкм и 82% по весу) Барийалюмофтористое стекло Высокодискретные наночастицы	СтомаДент (Россия) Унирес Уретанметакрилат бисфенол А глицидилметакрилат (BiS-GMA) триэтиленгликольдиметакрилат (ТГМ) бутилированный гидрокситолуол камфорохинон триметакрилаттриэтанолламин (ТМАТЭА), флюоресцирующий пигмент бариевое алюмоборосиликатное стекло ПМ-3 стеклонанонаполнитель GM32087 кислота уксусная ледяная

Окончание табл.

Действующее вещество	Импортный препарат / производитель и состав	Российский препарат / производитель и состав
Барийалюмофтористое стекло	Heraeus (Германия) CHARISMA Opal Основан на акриловом мономере BIS-GMA, содержит 58 % пломбирочного материала, в состав входят: (0,02–2 мкм) высокодисперсного диоксида кремния (0,02–0,07 мкм) [6]	Владмива (Россия) Дентлайт-Придесневая масса. Низковязкая светоотверждаемая паста на основе метакрилатных олигомеров и модифицированного тонкодисперсного нанонаполнителя. Рентгеноконтрастный наполнитель – комбинация кластеров модифицированных барийборалюмосиликатных (0,1–3 мкм) и наноразмерного диоксида кремния (5–75 нм). Высокопрочная полимерная матрица, содержащая Bis-GMA [4]
Смола Bis-GMA	3M (США) FiltekTMUltimate Содержит UDMA, Bis-GMA, BIS-EMA смолы и TEGDMA. Наполнитель представляет собой комбинацию свободных наночастиц кремния размером 20 нм Несвязанных частиц циркония Силантезированных циркониево-кремниевых кластеров [7]	СтомаДент (Россия) Эстелюкс НК наногибрид. В состав органической матрицы входит модифицированное производное Bis-GMA, мономеры-разбавители, иницилирующая система, уретанметакрилаты
Смола BIS-GMA, TEGDMA	3M (США) Filtek Z550 Улучшенная система смол BIS-GMA, UDMA, BIS-EMA, PEGDMA и TEGDMA. Технология системы смол основана на системе смол Filtek Z250 [2]	СтомаДент (Россия) Призмафил уретандиметакрилат, нупол или Bis-GMA, TEGDMA, камфорохинон, триметакрилат триэтанолamina, ионол пищевой, флублау, силан, бариевое алюмоборосиликатное стекло
Смола Bis-GMA	3M (США) Filtek Z250UD Неорганические частицы (около 60%). Их размер составляет от 0,01 до 3,5 мкм. Наполнитель содержит цирконий. А также такие смолы: Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA [8]	СтомаДент (Россия) Унирес Уретанметакрилат бисфенол А глицидилметакрилат (Бис ГМА) триэтиленгликольдиметакрилат (ТГМ) бутилированный гидрокситолуол камфорохинон триметакрилаттриэтанолamin (ТМАТЭА),
Неагломерированного/неагрегированного частиц оксида кремния, Неагломерированного/неагрегированного оксида циркония	3M (США) Filtek™ BulkFillPosterior Наполнители представляют собой сочетание неагломерированного/неагрегированного частиц оксида кремния размером 20 нм, неагломерированного/неагрегированного оксида циркония размером 4–10 нм, агрегированного кластерного наполнителя на основе оксида циркония/оксида кремния [9]	Владмива (Россия) Дентлайт Высокопрочная полимерная матрица, содержащая Bis-GMA, UDMA, TEGDMA нанонаполнитель другие олигомеры: рентгеноконтрастный 180–185 мас.% или 62–65 объем.%, барийборалюмосиликатных кластеров (0,1–3 мкм) и наноразмерного диоксида кремния (5–75 нм)
Смола UDMA [10].	Kerr (Германия) Herculite Матрица: TCD-DI-HEA и UDMA. Наполнитель: барий-алюмо-фторидное стекло и высокодисперсные наночастицы	Владмива (Россия) Дентлайт-Универсальный Высокопрочная полимерная матрица, содержащая Bis-GMA, UDMA, TEGDMA и олигомеры
Триэтиленгликольдиметакрилат (TEGDMA)	Dentsply (Германия) Spectrum TPH Триэтиленгликольдиметакрилат (TEGDMA) Диметакрилатные Мультифункциональные полиметакрилатные Камфорохинон Этил-4(диметиамино)бензонат Бутилат гидрокси толуена (ВНТ) Стабилизаторы UV Барий-алюминий-боросиликатное стекло (средний размер частиц < 1 μm) Барий-бор-фторо-алюминиевое силикатное стекло Высокодисперсный диоксид кремния. Флюоресцирующий агент	СтомаДент (Россия) Унирес Уретанметакрилат бисфенол А глицидилметакрилат (Bis-GMA) триэтиленгликольдиметакрилат (ТГМ) бутилированный гидрокситолуол камфорохинон триметакрилаттриэтанолamin (ТМАТЭА), флюорисцирующий пигмент бариевое алюмоборосиликатное стекло ПМ-3 стеклонанонаполнитель GM32087 кислота уксусная ледяная

Заключение

В ходе исследования был изучен биохимический состав зарубежных и отечественных пломбировочных композиционных материалов на основании приведенных данных в инструкциях к препаратам. Основными компонентами химического состава композиционных материалов отечественных и зарубежных производителей, применяемых в стоматологии для пломбирования зубов, являются неорганический наполнитель, инициатор, силанизирующий агент, красители, стабилизаторы и матрица органическая.

Матрица органическая является основой композитной стоматологической пломбы, имеющей в своем составе гидрофобные метакрилаты. Последние, в свою очередь, представляют собой органические молекулы различных типов и отличаются по размерам и весу. Основную часть композитной пломбы составляют высокомолекулярные метакрилаты большого веса – Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, EGDMA и их разновидности. Другая часть – низкомолекулярные ди- и триметакрилаты. Их основным предназначением является соединение высокомолекулярных молекул в одно целое. Метакрилаты, используемые в композитном материале, существенно влияют на степень усадки пломбы, а также на стабильность материала.

Модифицированная матрица является основой ормокоеров, в состав которых входят полицепочки двуокиси кремния со свободными карбоксильными группами и гидрофобными метакрилатами. Взаимодействие карбоксильных групп, активирующихся при полимеризации, образует единый каркас. В нем равномерно распределены силанизированные частицы неорганического вещества разного типа и размера. Они-то и образуют неорганический наполнитель. Выделяют четыре группы наполнителя по размеру частиц: 10–100 мкм, 1–10 мкм, 0,1–1 мкм, 0,01–0,1 мкм. Частицы с размером более 0,1 мкм содержат в своем составе соли бария, стронция, алюминия, лития, диоксид титана, частицы кварца или стекла, а частицы размером менее 100 нм (0,1 мкм) – высокодисперсную двуокись кремния.

В основном материалы содержат в своем составе разные наполнители, а размеры частиц в них позволяют классифицировать композитный материал. Размер частиц влияет на полируемость и долговечность материалов: они ухудшаются с увеличением размера частиц в материале. Именно поэтому производители используют универсальный средний размер частиц. Это можно назвать

своего рода золотой серединой качества композитного материала.

Наполненность по весу и объему значительно влияет на характеристики композитных пломбировочных материалов. Большинство из них содержат до 80% наполнителя по весу и до 70% по объему. Наполненность композитных материалов значительно влияет на усадку и консистенцию, прочность и рентгеноконтрастность, а также, что особенно важно, на оптические свойства. С повышением наполненности материала уменьшается его усадка, а рентгеноконтрастность и прочность становятся выше. В итоге композитный материал становится более плотным по консистенции.

Интеграцию частиц наполнителя с органической матрицей определяет силанизирующий агент, представляющий собой бифункциональную молекулу. Появляется устойчивость материала к нагрузке.

Инициатор представляет собой химическое вещество, при определенном воздействии активирующее реакцию с образованием свободных радикалов, которые связывают компоненты матрицы в единую сеть. В светоотверждаемых композитных материалах используются фенилпропандион (PPD), люцерин, камфорохинон, в химически активируемых – четвертичные амины и бензоилпероксид. При выборе источника света особую роль играет тип инициатора. Так, например, пломбировочные композитные материалы, содержащие люцерин и PPD, не активируются должным образом плазменными и диодными лампами. Сегодня производители используют несколько типов инициаторов. Это позволяет добиться универсальности в использовании.

Стабилизаторы. Гидрохинон метиловый эфир и гидрокситолуол являются химическими стабилизаторами композитных пломбировочных материалов, препятствующих самопроизвольной и преждевременной полимеризации под влиянием естественного света. Стабилизаторы определяют срок годности и максимальное время моделирования материала в клинических условиях.

Красители. К ним относятся такие неорганические химические вещества, как оксиды титана и алюминия, содержание которых влияет на цветовое соответствие пломбировочного композитного материала твердым тканям зуба. При проведении эстетической реставрации зубов в стоматологии используются композиты, имеющие в своем составе более 30 различных оттенков. Это позволяет значительно расширить оптические свойства материалов в практическом применении в любой ситуации у пациентов при выборе цвета и прозрачности зубов.

Выявили, что на рынке в нашей стране представлены отечественные фирмы, работающие в этом направлении более 10 лет, способные заместить полностью иностранных производителей. По отзывам российских практикующих стоматологов, качество отечественных композитных материалов не уступает заграничным аналогам. Российские композиты ДентаЛайт и ДентаЛайт-адгезив («Владмива», Россия) полностью соответствуют характеристике и показаниям к применению таких композитных материалов, как Filtek Z250UD, FiltekUltimate «3M Espe» (США), CharismaDiamond «HeraeusKulzer» (Германия). При этом по отзывам стоматологов клиники «ИНТЕР-СТОМ» (г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл) за пять лет наблюдений имеют меньший процент выпадений и послепломбировочных случаев чувствительности зубов на 30%. По данным Реестра медицинских изделий Росздравнадзора РФ, сегодня в стоматологии зарегистрировано около 40 различных композитных материалов. Это наглядно показывает, что в нашей стране имеется и сырьевая база, и самые современные технологии для эффективного развития собственного производства композитных материалов, не уступающих по качеству зарубежным аналогам.

Сегодня в России ведутся разработки композитных материалов на основе нанотехнологий, которые способны стимулировать регенерацию стволовых клеток дентина зубов и в перспективе могут стать основой для долговечной пломбы. Эти разработки не проводятся на сегодняшний день зарубежными производителями. Так, российская инновационная фирма «Владмива» – один из лидеров среди отечественных производителей композитных материалов в стоматологии: коллективом зарегистрировано более десятка патентов на изобретения

и 75 торговых марок. Бренд «Владмива» известен не только стоматологам России, его продукция экспортируется более чем в 40 стран мира.

Список литературы

1. Глебова Д.А., Николаев А.И. Лабораторное исследование полируемости стоматологических композитных реставрационных материалов // Смоленский медицинский альманах. 2020. № 3. С. 64–66.
2. Васюкова О.М., Звонникова Л.В., Аксенова Е.А. Клинический опыт применения наногибридного композита Filtek Z550 // Стоматология. 2013. Т. 92. № 3. С. 25–29.
3. Маршалок О.И., Михайловский С.Г., Иванова А.А., Тимохина Д.Б. Клиническая оценка пломбировочного материала Filtek Bulk Fill Posterior // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2021. Т. 9. № 3. С. 457–462.
4. Чуев В.П., Гапочкина Л.Л., Посохова В.Ф., Бузов А.А., Киреев В.В. Модифицированные реставрационные материалы фирмы «Владмива», их свойства и характеристики // Институт стоматологии. 2010. № 3 (48). С. 92–93.
5. Пермякова А.В., Николаев А.И. Исследование прочностных характеристик композитного реставрационного материала российского производства // Прикладные информационные аспекты медицины. 2020. Т. 23. № 2. С. 64–69.
6. Казанцева И.А., Рукавишников Л.И., Сорокоумова Г.В. Клинические результаты лечения постоянных зубов у детей и взрослых с использованием реставрационных материалов фирмы «HERAEUS KULZER» // Бюллетень Волгоградского научного центра Российской академии медицинских наук и Администрации Волгоградской области. 2004. № 3. С. 46–49.
7. Токарь О.М., Батиг В.М., Ватаманюк Н.В., Кавчук О.Н., Басистая А.С. Оценка реставраций коронковой части фронтальной группы зубов нанокомпозитным фотополимерным материалом Filtek Ultimate фирмы 3M ESPE // Молодой ученый. 2017. № 25 (159). С. 196–198.
8. Shasliva T., Pavlenko K. Comparative characteristics of the “Filtek Z 250” microgibric composite and the nanocomposite “Nano Paq” // Современная стоматология. 2017. № 3 (87). С. 14.
9. Маршалок О.И., Михайловский С.Г., Иванова А.А., Тимохина Д.Б. Клиническая оценка пломбировочного материала Filtek Bulk Fill Posterior // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2021. Т. 9. № 3. С. 457–462.
10. Floyd C.J.E., Dickens S.H. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. Dental Materials. 2006. Т. 22. No. 12. P. 1143–1149.

СТАТЬИ

УДК 616.831-005.4

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АСТРОЦИТОВ СЕНСОМОТОРНОЙ КОРЫ БЕЛЫХ КРЫС ПОСЛЕ ПЕРЕВЯЗКИ ОБЩИХ СОННЫХ АРТЕРИЙ

Макарьева Л.М., Степанов С.С., Акулинин В.А.

ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, Омск,
e-mail: lyuba.mamontova.07@gmail.com, serg_stepanov@mail.ru, v_akulinin@outlook.com

Цель настоящего исследования – изучить пространственную организацию отростков астроцитов слоя I, III и V сенсомоторной коры (СМК) головного мозга крыс после необратимой двусторонней перевязки общих сонных артерий (ПОСА). Неполную глобальную ишемию головного мозга моделировали на белых крысах линии Wistar путём необратимой двусторонней ПОСА. Проводили сравнительную гистологическую, иммуногистохимическую и морфометрическую оценку соответствующих структур в норме ($n = 6$), через 1, 3, 7, 14 и 30 сут после ПОСА ($n = 30$). Использовали окраски по Ниссли и гематоксилин-эозином, иммуногистохимические реакции на GFAP. В ходе исследования установлен гетерохронный и гетероморфный характер изменений пространственной организации отростков астроцитов в разных слоях СМК. Через 1 сут после ПОСА происходило увеличение содержания реактивно измененных астроцитов с большим числом толстых отростков (гипертрофия отростков) с высокой очаговой плотностью распределения и усложнением фиброархитектоники. Эти изменения затрагивали и протоплазматические, и волокнистые астроциты СМК. Через 3 сут после ПОСА установлено максимальное содержание маркера GFAP во всех исследуемых слоях СМК: в слое I – 23,8%, в слое III – 20,9%, в слое V – 22,2%. Через 7 сут после ПОСА показатели лакунарности достигают максимальных значений за весь исследуемый период, фрактальная размерность в этот период статистически значимо снижается в сравнении с предыдущим сроком (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$). В отдаленном периоде (через 14 и 30 сут) происходит увеличение фрактальной размерности и снижение лакунарности астроглиальной сети во всех исследуемых слоях СМК. Таким образом, при проведении фрактального анализа получена дополнительная количественная характеристика астроцитов, включающая площадь и форму распределения отростков астроцитов в пространстве. Согласно полученным результатам установлено, что пространственная реорганизация астроцитов, активация микроглиоцитов и олигодендроцитов способствовали выживанию нейронов в условиях ишемии.

Ключевые слова: ишемия головного мозга, астроциты, иммуногистохимия, GFAP, фрактальный анализ, крысы Wistar

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHANGES IN ASTROCYTES OF THE SENSORIMOTOR CORTEX OF WHITE RATS AFTER LIGATING THE COMMON CAROTID ARTERIES

Makareva L.M., Stepanov S.S., Akulinin V.A.

Omsk State Medical University, Omsk,

e-mail: lyuba.mamontova.07@gmail.com, serg_stepanov@mail.ru, v_akulinin@outlook.com

The aim of this study was to study the spatial organization of astrocyte processes in layers I, III, and V of the sensorimotor cortex (SMC) of the rat brain after irreversible bilateral ligation of the common carotid arteries (CCA). Incomplete global cerebral ischemia was modeled on white Wistar rats by irreversible bilateral PCA. A comparative histological, immunohistochemical and morphometric evaluation of the corresponding structures was carried out in the norm ($n = 6$), 1, 3, 7, 14 and 30 days after POCA ($n = 30$). Nissl and hematoxylin-eosin stains, immunohistochemical reactions for GFAP were used. The study established the heterochronous and heteromorphic nature of changes in the spatial organization of astrocyte processes in different layers of the SMC. One day after POCA, there was an increase in the content of reactive astrocytes with a large number of thick processes (process hypertrophy) with a high focal density of distribution and complication of fibroarchitectonics. These changes are present in both protoplasmic and fibrous SMC astrocytes. Three days after POCA, a high content of the GFAP marker was found in all cores of the SMC layers: 23.8% in residues I, 20.9% in residues III, and 22.2% in residues V. 7 days after POCA, lacunarity indicators reach their maximum values for the entire period of development, the fractal dimension in this period is found with age (Mann-Whitney U-test; $p < 0.05$). In the long-term period (after 14 and 30 days), there is an increase in the fractal dimension and a decrease in the lacunarity of the astroglial network in all the studied layers of the SMC. Thus, during the fractal analysis, an additional quantitative characteristic of astrocytes was obtained, including the area and shape of the distribution of astrocyte processes in space. According to the results obtained, it was found that the spatial reorganization of astrocytes, the activation of microgliaocytes and oligodendrocytes contributed to the survival of neurons under ischemia.

Keywords: cerebral ischemia, astrocytes, immunohistochemistry, GFAP, fractal analysis, Wistar rats

Астроциты участвуют во многих аспектах функционирования головного мозга, включая поддержание гомеостаза, развитие синапсов, поддержку нейронов, регуляцию мозгового кровотока, формирование и функцию гематоэнцефалического барьера

и контроль нейротрансмиттеров [1]. Регуляция функции синапсов обеспечивается выделением астроцитами глутаматных транснамиттеров, которые поступают в межклеточное пространство. В качестве ведущего глутаматного транснамиттера выступает глутамат, он активи-

вирует рецепторы NMDA, AMPA с целью быстрого обеспечения сигнала. Тем самым астроцит принимает участие в пластической регуляции синаптических процессов [2]. Установлено, что морфология астроцитов влияет на пространственные отношения не только с нейронами, но и с олигодендроцитами, сосудистыми клетками и другими астроцитами [3–5].

Любое, в том числе и ишемическое, повреждение головного мозга затрагивает астроциты. Установлено наличие прямой зависимости между степенью и характером морфологических изменений нейронов и астроцитов. Эффекты при активации астроглии двулики и могут быть направлены на защиту страдающей ткани головного мозга или на деструкцию поврежденных нейронов и стать причиной необратимых повреждений [6]. Нарушение функций астроцитов в условиях повреждения головного мозга является результатом окислительного стресса, деструкции митохондрий, нейровоспаления и глутаматной токсичности [2]. Реакция астроцитов может иметь отличительные особенности при разных патофизиологических вариантах ишемии головного мозга. Согласно литературным данным, изучена реорганизация астроцитов при разных экспериментальных моделях церебральной ишемии [1, 7]. Однако при субтотальной ишемии после необратимой двусторонней ПОСА пространственная организация отростков астроцитов СМК головного мозга подлежит более детальному изучению, поэтому цель настоящего исследования – изучить пространственную организацию отростков астроцитов слоя I, III и V СМК головного мозга крыс после необратимой двусторонней ПОСА.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет», одобрена этическим комитетом университета (протокол № 123 от 09 октября 2020 г.). В качестве экспериментальных животных использовали белых крыс линии Wistar массой 250–300 гр. Исследования проводили в соответствии с рекомендациями Международного комитета по работе с лабораторными животными, поддержанными ВОЗ, директивой Европейского парламента № 2010/63/EU от 22.09.2010 «О защите животных, используемых для научных целей».

Неполную глобальную ишемию головного мозга моделировали путем необратимой двусторонней ПОСА. Животных наркотизировали введением Zoletil 100 (10 мг/кг, внутримышечно). Контролем служили ин-

тактные крысы без манипуляций на общих сонных артериях (n = 5). Через 1, 3, 7, 14 и 30 сут животных выводили из эксперимента. Под наркозом (Zoletil 100) сосудистое русло мозга промывали введением 100–125 мл раствора 0,9% NaCl и Фрагмина (5000 единиц) в левый желудочек сердца и фиксировали перфузией 30 мл 4% раствора параформальдегида на фосфатном буфере (pH 7,2–7,4) через аорту под давлением 90–100 мм рт. ст. в течение 15 мин. Через 1,5–2 ч вскрывали черепную коробку, бережно извлекали головной мозг и помещали его в аналогичный фиксатор. Материал хранился в холодильнике при температуре + 4 °С. Через 1 сут полученный материал заключали с помощью автомата «STP 120» в гомогенизированный парафин (HISTOMIX®). Серийные фронтальные срезы (толщиной 4 мкм) готовили с помощью микротомы HM 450 (Thermo) на уровне СМК: 1,2 – (-3,0) мм от Брегмы [8].

Общую качественную оценку нервной ткани и идентификацию нейронов проводили на препаратах, окрашенных гематоксилин-эозином, тионином по методу Ниссля. Иммуногистохимическое исследование проводили на срезах, помещенных на маркированные предметные стекла. Использовали мышинные моноклональные антитела к GFAP – глиальный фибриллярный кислый белок астроцитов (MA5-12023) – мышинные моноклональные антитела, разведение 1–2 µg/mL (США). Для визуализации использовали набор реагентов на основе полимера NovoLink и пероксидазы NovoLink Polymer Detection System (Великобритания).

Препараты приготовлены в соответствии с инструкциями фирмы производителя реагентов, фотографировали на микроскопе Leica DM 1000 (камера GXCAM-DM800 Unique Wrap-Around 8MP AUTOFOCUS USB, pixel size 1.4×1.4 µm), изображение сохраняли в файлах с расширением tiff (2592×1944 пикселей), затем в Photoshop CC размерность увеличивали (до 3780×2835 пикселей/см, разрешение 600 пикселей/дюйм). Для достижения максимальной контрастности и четкости мелких отростков астроцитов в Photoshop CC проводили коррекцию изображения с помощью фильтра Camera Raw (контрастность, баланс белого, четкость). Дальнейшее морфометрическое исследование астроцитов проводили на масках 8-битовых черно-белых изображений (объектив ×40) с использованием программы ImageJ 1.53. Фрактальный анализ полученных изображений осуществляли с помощью плагина FracLac 2.5 (Box Counting Sampling Methods).

Определяли относительную площадь GFAP-положительного материала в поле зрения (по 80 полей зрения на каждый срок), фрактальную размерность (показатель заполнения пространства фрактальной структурой) и лакунарность (мера неоднородности заполнения пространства фрактальной структурой) для нейронов и астроцитов. Уменьшение фрактальной размерности свидетельствует об упрощении структуры клеток (например, о разрушении отростков), увеличение – об усложнении структуры (гипертрофия и разветвление отростков). Чем выше лакунарность, тем больше в поле зрения обнаруживалось асимметричных зон без хромогена (GFAP-негативных структур). Повышение показателя лакунарности выше контроля свидетельствовало о мелкоочаговом повреждении цитоскелета нейронов или астроцитов. Снижение показателя лакунарности свидетельствовало о гипертрофии и равномерном разветвлении отростков [9].

Проверку статистических гипотез осуществляли непараметрическими критериями (Mann – Whitney U-test, ANOVA Kruskal-Wallis) с помощью программы Statistica 8.0 (StatSoft). Количественные данные в исследовании представлены: медиана (*Me* – 50% квартиль, *Q2*), интерквартильный разброс (*Q1-Q3* – 25–75%

квартили), (Min-Max), процентная доля (%). Проблема множественного сравнения решалась путем использования ANOVA Kruskal – Wallis [10].

Результаты исследования и их обсуждение

По данным иммуногистохимического изучения распределения GFAP-положительного материала на фронтальных срезах СМК в контроле выявлено однородное распределение хромогена с максимальной концентрацией вокруг кровеносных капилляров и в молекулярном слое (рис. 1). GFAP-положительный материал локализован в телах и отростках протоплазматических и волокнистых астроцитов. Относительная площадь GFAP-положительного материала в слое I – 16,6%, в слое III – 13,7%, в слое V – 15,9%.

В сером веществе СМК различают волокнистые и протоплазматические астроциты. Для волокнистых астроцитов характерно небольшое тело с длинными и слабоветвленными отростками, они имеют древовидную организацию, высокая плотность GFAP-положительного материала содержится в отростках (рис. 1, Г, Д). Протоплазматические астроциты отличались крупным телом, толстыми и короткими отростками (рис. 1, В, Д). Оба вида астроцитов встречались в слоях III и V СМК мозга крыс.

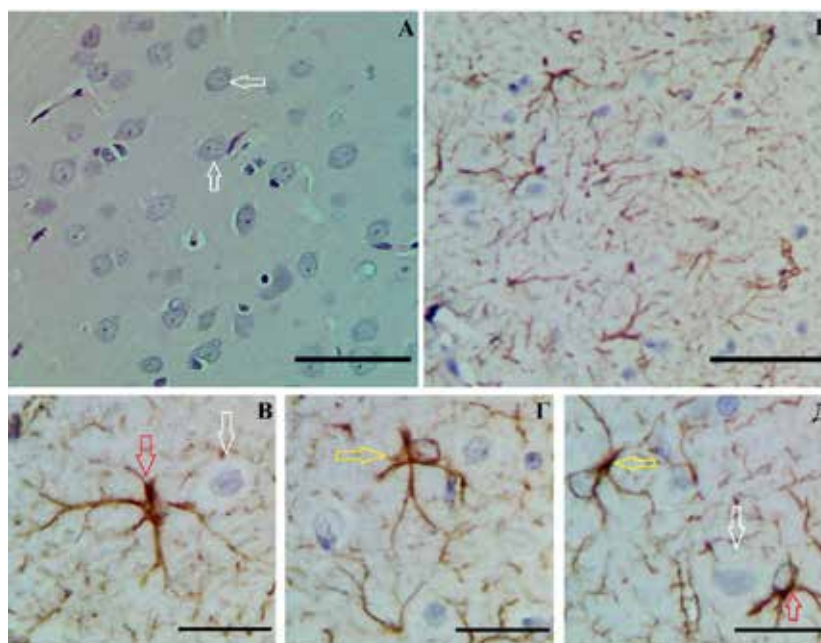


Рис. 1. Слой III (А–Г) и слой V (Д) СМК контрольной группы:
 А – нормохромные нейроны (белые стрелки) и нейрофибриллы (*); Б – равномерное распределение хромогена; протоплазматические (красные стрелки) и волокнистые (желтые стрелки) астроциты.
 Окраска: гематоксилин-эозином (А); иммуногистохимическое типирование GFAP (Б–Д).
 Объективы х 40 (А, Б), х 100 (В–Д), шкала – 25 мкм

По полученным в ходе фрактального анализа данным, в контрольной группе показатели заполнения фрактального пространства фрактальными структурами (телами и отростками астроцитов) при иммуногистохимическом исследовании препаратов, окрашенных на GFAP, в разных слоях СМК статистически значимо различались.

По результатам иммуногистохимического исследования относительной площади GFAP-позитивного материала установлено увеличение локального содержания маркера GFAP уже через 1 сут после необратимой двусторонней ПОСА. Максимальным содержанием маркера GFAP было в молекулярном слое СМК и составило 21,9% (Q2), здесь преобладали фиброзные астроциты. Минимальное содержание отмечено в слое V СМК – 17,6% (Q2). Значения в разных слоях статистически значимо отличались (Wilcoxon test между слоем I и слоем III – $p < 0,005$, между слоем I и слоем V – $p < 0,01$) (рис. 1). Через 1 сут после ПОСА происходило увеличение содержания реактивно измененных астроцитов с большим числом толстых отростков (гипертрофия отростков) с высокой очаговой плотностью распределения и усложнением фиброархитектоники. Эти изменения затрагивали и протоплазматические, и волокнистые астроциты СМК.

Через 3 сут после ПОСА установлено максимальное содержание маркера GFAP во всех исследуемых слоях СМК. В слое I – 23,8%, в слое III – 20,9%, в слое V – 22,2% (рис. 1). Через 7 сут после ПОСА в слое I СМК установлено статистически значимое снижение относительной площади GFAP до 18,6% (Mann – Whitney U Test; $p = 0,02$). Через 14 сут в слое I СМК отмечено увеличение относительной площади хромогена (GFAP) элементов глияльной сети СМК до 20,3% с последующим снижением этого значения до 17,8% через 30 сут после ПОСА (рис. 1). В слое III СМК через 7 сут после ПОСА относительная площадь маркера GFAP уменьшается до 18,6% и имеет статистически значимое различие с 3 сут (Mann – Whitney U Test; $p = 0,02$). Через 14 сут после ПОСА в слое III СМК показатель относительной плотности хромогена статистически значимо снизился до 15,9% (Mann – Whitney U Test; $p = 0,008$), затем через 30 сут после ПОСА произошло его увеличение до 16,85%. В слое V СМК через 7 сут после ПОСА относительная площадь GFAP статистически значимо снизилась до 16,0% (Mann – Whitney U Test; $p < 0,001$). Минимальных значений этот показатель в слое V СМК достигал через 30 сут после ПОСА и составил 14,6% (рис. 2).

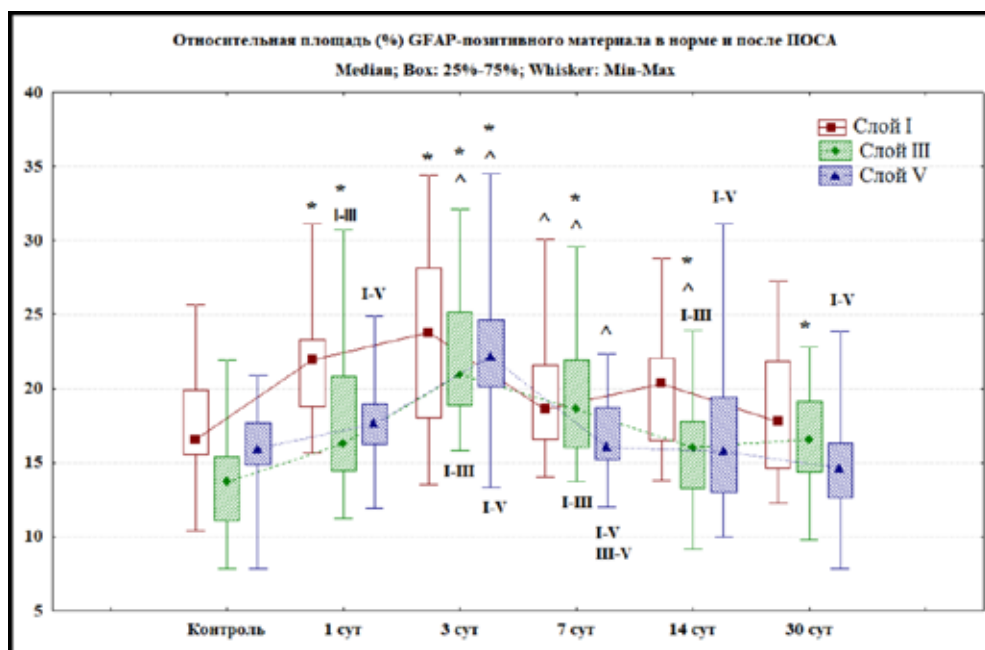


Рис. 2. Относительная площадь (%) хромогена при иммуногистохимическом выявлении (GFAP) элементов глияльной сети слоя I, III и V СМК в контроле и после ПОСА.

Примечания: * – различия статистически значимы в сравнении с контролем, ^ – с предыдущим сроком (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$), I-III, I-V, III-V – в сравнении между соответствующими слоями (Wilcoxon test; $p < 0,05$). При множественном сравнении по срокам (ANOVA Kraskel – Wallis) удалось отвергнуть нулевую гипотезу – слой I ($df = 5$; $H = 18,9$; $p = 0,002$); слой III ($df = 5$; $H = 46,3$; $p = 0,0001$); слой V ($df = 5$; $H = 40,6$; $p = 0,0001$)

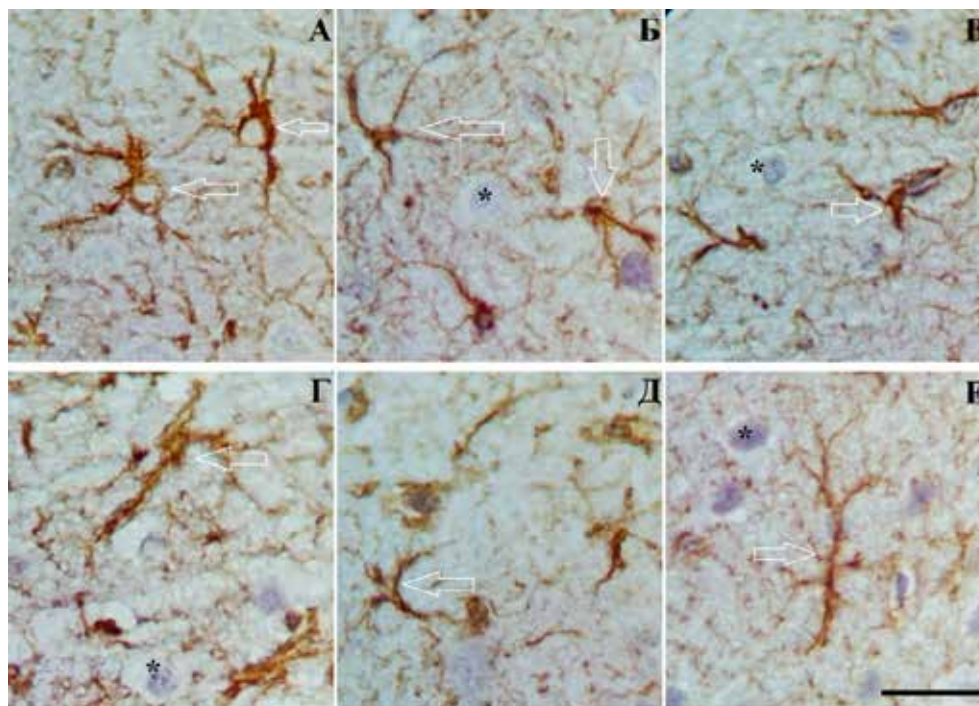


Рис. 3. Слой III (А, Б, В) и слой V (Г, Д, Е) СМК через 3 (А, Г), 7 (Б, Д) и 30 (В, Е) сут после ПОСА. Разная степень гипертрофии отростков астроцитов. Стрелки – указанные проявления. Окраска: иммуногистохимическое типирование GFAP. Объектив $\times 100$, шкала – 25 мкм

По результатам проведения фрактального анализа после ПОСА происходит пространственная реорганизация глиальной сети СМК мозга крысы. Вероятными причинами изменений могут быть деструктивные процессы отростков астроцитов вследствие возникшей гипоперфузии головного мозга, пролиферация и гипертрофия астроцитов. Через 1 сут после ПОСА выявлены статистически значимые изменения фрактальной размерности и лакунарности астроглиальной сети СМК. Фрактальная размерность в сравнении с контролем увеличивалась во всех исследуемых слоях СМК (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$) (рис. 4). Через 3 сут после ПОСА выявлены статистически значимые изменения всех переменных (фрактальной размерности и лакунарности). Происходило статистически значимое увеличение фрактальной размерности во всех исследуемых слоях одновременно со статистически значимым уменьшением лакунарности в слое I и слое III СМК (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$). Данные проявления могут свидетельствовать об увеличении площади GFAP-материала (рис. 2, 4).

Увеличение относительной площади GFAP-материала и увеличение фрактальной размерности астроглиальной сети может свидетельствовать о гипертрофических процессах, протекающих в отростках

астроцитов в ответ на ишемию, и может быть рассмотрено как компенсаторная реакция астроцитов (рис. 3).

Через 7 сут после ПОСА происходит статистически значимое снижение фрактальной размерности в сравнении с контролем и предыдущим сроком (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$). Лакунарность достигает максимальных значений в этот период, происходит статистически значимое увеличение этой переменной в сравнении с предыдущим сроком (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$). Это свидетельствует о появлении GFAP-негативных зон. Так же имеются статистически значимые различия между слоем III и V (Wilcoxon test; $p < 0,05$).

Через 14 и 30 сут после ПОСА происходит статистически значимое увеличение фрактальной размерности и снижение лакунарности астроглиальной сети во всех исследуемых слоях СМК. Происходило постепенное заполнение фрактального пространства отростками астроцитов.

Согласно данным литературы, после 20 мин ООСА выявлена количественная гетерогенность и гетерохронность изменений пространственной организации астроцитарных отростков в разных слоях гиппокампа. В остром периоде ишемии происходило уменьшение фрактальной размерности и значительное увеличение лакунарности.

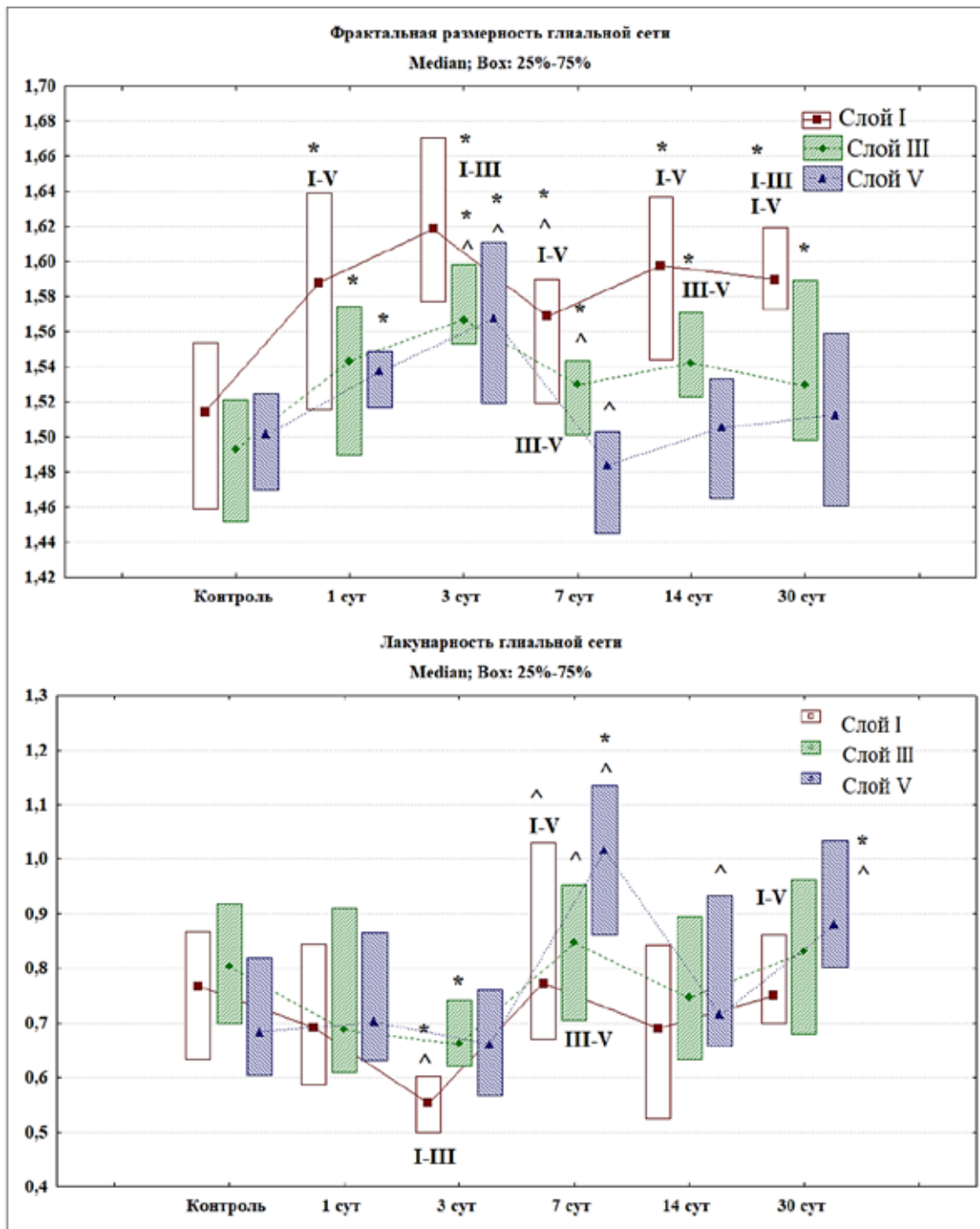


Рис. 4. Фрактальная размерность и лакунарность глиальной сети различных слоев СМК в контроле и после ПОСА, Q2 (Q1-Q3)

Примечания: * – различия статистически значимы в сравнении с контролем, ^ – с предыдущим сроком (Mann – Whitney U test; $p < 0,05$), I-III, I-V, III-V – в сравнении между соответствующими слоями (Wilcoxon test; $p < 0,05$).

При множественном сравнении фрактальной размерности по срокам (ANOVA Kraskel – Wallis) удалось отвергнуть нулевую гипотезу – слой I (df = 5; H = 22,8; $p = 0,0004$); слой III (df = 5; H = 44,6; $p = 0,0001$); слой V (df = 5; H = 31,8; $p = 0,0001$).

При множественном сравнении лакунарности по срокам (ANOVA Kraskel – Wallis) удалось отвергнуть нулевую гипотезу – слой I (df = 5; H = 23,6; $p = 0,0003$); слой III (df = 5; H = 12,8; $p = 0,02$); слой V (df = 5; H = 37,2; $p = 0,0001$).

Причиной деструкции отростков астроцитов были отек и набухание с разрушением цитоскелета [11, 12]. В неокортексе через 1 и 3 сут после 20 мин ООСА происходило разрушение части отростков астроцитов, а в других отростках происходили компенсаторные реактивные изменения. Через 7 сут после 20 мин ООСА увеличивалась численная плотность фиброзных астроцитов в субпиальной зоне под наружной пограничной глиальной мембраной мозга. Начиная с 3 сут происходило восстановление характеристик астроцитарной фрактальной структуры неокортекса, но контрольного уровня они не достигали в течение всего периода наблюдения (30 сут) [7]. По нашим данным, через 3 сут после ПОСА отмечались адаптивные компенсаторные изменения отростков астроцитов, проявляющиеся уменьшением лакунарности и увеличением фрактальной размерности. Через 7 сут отмечалась очаговая деструкция отростков астроцитов. По всей видимости, часть отростков имела признаки компенсаторных изменений, в связи с чем через 14 и 30 сут после ПОСА происходило увеличение фрактальной размерности и уменьшение лакунарности.

Заключение

Таким образом, при проведении фрактального анализа получена дополнительная количественная характеристика астроцитов, включающая площадь и форму распределения отростков астроцитов в пространстве. Согласно полученным результатам установлено, что пространственная реорганизация астроцитов, активация микроглиоцитов и олигодендроцитов способствовали выживанию нейронов в условиях ишемии.

Список литературы

1. Xu S., Lu J., Shao A., Zhang J.H., Zhang J. Glial Cells: Role of the Immune Response in Ischemic Stroke. *Front Immunol.* 2020. Vol. 26. No. 11. P. 294. DOI: 10.3389/fimmu.2020.00294.
2. Гомазков О.А. Астроциты как компоненты регуляции высших функций мозга // *Нейрохимия.* 2019. Т. 36. № 4. С. 267–274.
3. Steliga A., Kowiański P., Czuba E., Waśkow M., Moryś J., Lietzau G. Neurovascular Unit as a Source of Ischemic Stroke Biomarkers-Limitations of Experimental Studies and Perspectives for Clinical Application. *Transl Stroke Res.* 2020. Vol. 11. No. 4. P. 553–579. DOI: 10.1007/s12975-019-00744-5.
4. Zhao Y., Yang J., Li C., Zhou G., Wan H., Ding Z., Wan H., Zhou H.. Role of the neurovascular unit in the process of cerebral ischemic injury. *Pharmacol Res.* 2020. Vol. 160. P. 105103. DOI: 10.1016/j.phrs.2020.105103.
5. Alia C., Cangi D., Massa V., Salluzzo M., Vignozzi L., Caleo M., Spalletti C. Cell-to-Cell Interactions Mediating Functional Recovery after Stroke. *Cells.* 2021. Vol. 6. No. 10 (11). P. 3050. DOI: 10.3390/cells10113050.
6. Amtul Z., Yang J., Lee T.Y., Cechetto D.F. Pathological Changes in Microvascular Morphology, Density, Size and Responses Following Comorbid Cerebral Injury. *Front Aging Neurosci.* 2019. Vol. 27. No. 11. P. 47. DOI: 10.3389/fnagi.2019.00047.
7. Степанов В.А., Акулинин В.А., Авдеев Д.Б., Степанов А.С., Горбунова А.В. Реорганизация астроцитов неокортекса белых крыс после 20-минутной окклюзии общих сонных артерий // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2019. Т. 105. № 5. С. 578–590.
8. Paxinos G., Watson C. The rat brain in stereotaxic coordinates. 5-th ed. Amsterdam, Boston: Elsevier Academic Press, 2005. 367 p.
9. Pirici D., Mogoantă L., Mărgăritescu O., Pirici I., Tudorică V., Coconu M. Fractal analysis of astrocytes in stroke and dementia. *Rom J Morphol Embryol.* 2009. Vol. 50. No. 3. P. 381–390.
10. Боровиков В. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере.* 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
11. Авдеев Д.Б., Степанов С.С., Акулинин В.А., Степанов А.С., Шоронова А.Ю., Самсонов А.А. Реорганизация астроцитов гиппокампа белых крыс после 20-минутной окклюзии общих сонных артерий // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2019. Т. 63. № 4. С. 13–22.
12. Becerra-Calixto A., Cardona-Gómez G.P. The role of astrocytes in neuroprotection after brain stroke: Potential in Cell Therapy. *Front Mol Neurosci.* 2017. Vol. 50. No. 10 (159). P. 88.

УДК 616-056.52-001.5

**НЕКОТОРЫЕ ИММУНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИРЕОПАТОЛОГИИ****Плескановская А.С., Оразалиева А.М., Ламанова Д.Б.***Туркменский государственный медицинский университет им. М. Гаррыева, Ашхабад,
e-mail: pleskanovskaya_s@mail.ru*

Аутоиммунная тиреоидная патология иммунологически характеризуется наличием в циркуляции анти-тиреоидных аутоантител, концентрацию которых рассматривают как один из ведущих признаков наличия аутоиммунного процесса в щитовидной железе. Наличие аутоантител в сыворотке больного в первую очередь свидетельствует о срыве толерантности организма к тканевым антигенам собственной ЩЖ и формировании «запрещенного пула» лимфоцитов, распознающего аутоантигены. Целью исследования являлось определение степени сенсибилизации циркулирующих лейкоцитов к антигенам ЩЖ в контексте морфологической характеристики тиреоидной патологии. Авторами в периферической крови практически здоровых лиц, больных с аутоиммунным тиреоидитом Хашимото, микро-макрофолликулярным зобом с гиперпластическим и гипопластическим процессами в фолликулах ЩЖ в реакции торможения миграции лейкоцитов выявлены лейкоциты, сенсибилизированные к растворимому тканевому антигену ЩЖ (РТАГ ЩЖ). Показано, что величина индекса миграции лейкоцитов (ИМЛ) в присутствии РТАГ ЩЖ соответствует морфологическим изменениям в ткани органа. Авторы считают, что внимание к гуморальным факторам иммунитета при тиреоидной патологии не должно исключать интерес к патогенетическому значению лимфоцитов, специфически сенсибилизированных к тканевым антигенам ЩЖ. По мнению авторов, ИМЛ может быть использован в качестве предиктора патологии ЩЖ.

Ключевые слова: патология щитовидной железы, морфологические особенности, специфически сенсибилизированные лейкоциты

**SOME IMMUNE-MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THYROID PATHOLOGY****Pleskanovskaya A.S., Orazalieva A.M., Lamanova D.B.***Myrat Garryev State Medical University of Turkmenistan, Ashkhabad,
e-mail: pleskanovskaya_s@mail.ru*

Autoimmune thyroid pathology immunologically is characterized by the antithyroid autoantibodies presence in the patients' circulation, concentration of which is considered as one of the leading signs of the autoimmune process presence in the thyroid gland. The autoantibodies' presence in the patient's serum, first of all, indicates a breakthrough of the body's tolerance to its' own thyroid gland tissue antigens and the recognizing autoantigens "forbidden pool" lymphocytes formation. The aim of the study was patients' circulating leukocytes sensitization to the thyroid antigen degree determination in the context of the thyroid pathology morphological peculiarities. In the practically healthy persons' peripheral blood, patients with autoimmune Hashimoto's thyroiditis, micro-macrofollicular goiter with hyperplastic and hypoplastic processes in the leukocyte migration inhibition reaction, leukocytes, sensitized to the soluble tissue antigen of the thyroid gland (RTAG thyroid gland) have been identified. It has been shown that the value of the leukocyte migration index (IML) in the presence of thyroid RTAG corresponds to morphological changes in the organ tissue. Conclusion. The authors believe that attention to the humoral factors of immunity in thyroid pathology should not exclude interest in the pathogenetic significance of lymphocytes specifically sensitized to thyroid tissue antigens. According to the authors, IML can be used as a predictor of thyroid pathology.

Keywords: thyroid pathology, morphological features, specifically sensitized leukocytes

Статистика Всемирной организации здравоохранения свидетельствует, что среди эндокринных патологий заболевания щитовидной железы занимают второе место после сахарного диабета. Более 665 млн чел. в мире имеют эндемический зоб или страдают другими заболеваниями щитовидной железы, у 1,5 млрд отмечен риск развития йододефицитных заболеваний. При этом ежегодно эта цифра увеличивается на 5%. В связи с этим в 2008 г. по инициативе Европейской тиреологической ассоциации (European Thyroid Association, ETA) был утвержден Всемирный день щитовидной железы (ЩЖ) (World Thyroid Day) [1].

Одним из наиболее известных заболеваний ЩЖ является аутоиммунный тире-

оидит (АИТ) Хашимото, который встречается у 3–4% населения Земли. Но частота клинически выраженных форм заболевания составляет 1% [2].

Известно, что морфологически АИТ Хашимото (АИТХ) характеризуется диффузной лимфоплазмодитарной инфильтрацией стромы железы с образованием лимфоидных фолликулов, последующим разрушением тиреоидных фолликулов и развитием склероза ткани ЩЖ различной степени тяжести [3]. В результате разрушения фолликулов освобождается избыточная информация об их тканевых антигенах. Эта информация инициирует иммунный ответ, результатом которого является в первую очередь формирование пула специфически сенсибилизиро-

ванных лимфоцитов и последующий синтез антител к тканям собственной ЩЖ.

Аутоантитела к тиреоглобулину циркулируют в крови 70–80% пациентов с АИТХ [4], у 30–40% пациентов с диффузным токсическим зобом, 10–15% пациентов с неаутоиммунными заболеваниями щитовидной железы [2, 5].

Наличие аутоантител в первую очередь свидетельствует о срыве толерантности организма к тканевым антигенам собственного органа и формировании «запрещенного» пула лимфоцитов, распознающего аутоантигены [6]. В этой связи не вызывает сомнений наличие в кровотоке больных с тиреоидной патологией не только антитиреоидных антител, но и специфически сенсибилизированных к тканям ЩЖ лимфоцитов.

Однако в доступной литературе практически не рассматривается вопрос об идентификации специфически сенсибилизированных лимфоцитов в периферической крови при тиреоидной патологии, их диагностическом и прогностическом значении.

Целью настоящего исследования являлось определение степени сенсибилизации циркулирующих лейкоцитов к антигенам ЩЖ в контексте морфологической характеристики тиреоидной патологии.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено на базе Научно-исследовательского центра Государственного медицинского университета Туркменистана им. М. Гаррыева и Центрального патологоанатомического бюро (ЦПАБ) г. Ашхабада.

Объектом исследования послужили 130 образцов ткани ЩЖ, полученных при тиреоидэктомии, и 30 образцов ткани ЩЖ практически здоровых лиц (ПЗЛ) обоего пола, погибших от случайных причин. Объектом исследования также служила периферическая кровь 120 больных с патологией ЩЖ и 120 практически здоровых лиц обоего пола в возрасте от 20 до 55 лет (в среднем $37,8 \pm 5,3$ лет).

Материалом морфологического исследования служила ткань ЩЖ, удаленная во время тиреоидэктомии и присланная из профильных клиник г. Ашхабада в ЦПАБ для морфологической верификации диагноза «АИТ Хашимото». Образцы ткани фиксировали в 10% нейтральном формалине и жидкости Карнуа, традиционным способом готовили парафиновые блоки и препараты толщиной 5–6 мкм. Препараты окрашивали альциановым синим, гематоксилин – эозином, по Фельгену, Браше, ставили PAS-реакцию [7]. При морфометрии использовали окулярную сетку Г.Г. Автандилова [8].

Степень сенсибилизации лейкоцитов периферической крови к антигенам ЩЖ определяли в реакции торможения миграции лейкоцитов (РТМЛ) в модификации [9]. Результаты выражали в виде индекса миграции лейкоцитов (ИМЛ), который вычисляли в процентах от количества клеток, мигрировавших в среду без антигена. ИМЛ определен у 120 ПЗЛ и 60 пациентов с тиреопатологией.

Для приготовления растворимого тканевого антигена (РТАГ) использован гомогенат пяти ЩЖ ПЗЛ обоего пола в возрасте от 20 до 40 лет, погибших от случайных причин. Антигены из гомогенатов ткани ЩЖ извлекали методом водно-солевой экстракции, определяли содержание белка и доводили его концентрацию до 20 мкг/мл [10]. Полученные РТАГ ЩЖ хранили в пробирках MULTIPLEX – ПРЕМИУМ по 1,0 мл при температуре -19°C . Размораживали за 1 час до постановки РТМЛ.

Полученные цифровые данные математически обработаны с использованием программы SPSS (Statistics 20 USA).

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование показало, что в периферической крови ПЗЛ циркулируют лейкоциты, специфически сенсибилизированные к РТАГ ЩЖ. Референсные значения ИМЛ колеблются от 74 до 156%. Величина ИМЛ, полученная на основании статистического и кластерного анализов результатов 120 исследований, составляет $120,3 \pm 9,3\%$. Она принята за региональную норму.

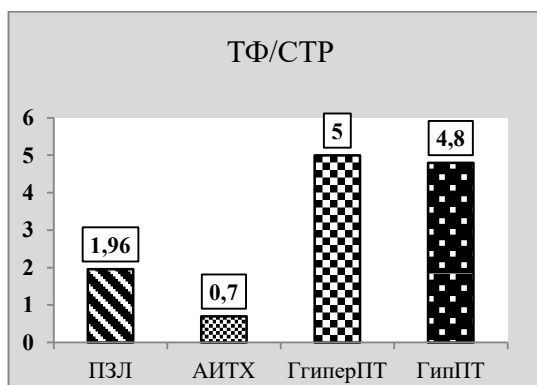
При тиреоидной патологии значения ИМЛ колеблются от 37 до 200%. Величина ИМЛ зависит от вида тиреоидной патологии и ее морфологической картины (таблица). Из таблицы видно, что у больных АИТ Хашимото (АИТХ) ИМЛ в среднем по группе составляет $65,7 \pm 4,3\%$ ($p < 0,01$ против уровня контроля).

При этом морфологическая картина характеризуется массивной лимфо-плазмоцитарной инфильтрацией стромы с образованием лимфоидных фолликулов, местами со светлыми центрами. В очагах лимфо-плазмоцитарной инфильтрации в большом количестве имеются пиронинофильные плазмоциты. На фоне картины микро-макрофолликулярного зоба резко выражено разрушение тиреоидных фолликулов, в большом количестве встречаются поля склероза, разрастание плотных коллагеновых волокон с высоким содержанием кислых мукополисахаридов. При этом площадь стромы резко увеличена против нормы. На диаграмме (рисунок) представлено отношение площади тиреоидных фолликулов к площади стромы в зависимости от тиреопатологии.

Иммуно-морфологические показатели в зависимости от тиреоидной патологии

Тиреоидная патология	ИМЛ (%)	Объёмная плотность лимфоидной инфильтрации (%)	Объёмная плотность, занимаемая тиреоидными фолликулами (%)
Аутоиммунный тиреоидит	65,7±4,3**	61,8 ± 9,7 *	37,2 ± 2,1*
Гиперпластический процесс в фолликулах ЩЖ	168,3±9,6*	16,7 ±3,0** 1:4,9	83,4 ± 8,6*
Гиперпластический процесс с выраженным склерозом и гиалинозом стромы	52,7±4,2**	37,5 ± 2,3* 1:1,16	60,5 ± 7,6
ЩЖ ПЗЛ (контроль)	120,3±9,3	29,6±3,5 1:2	58,3±6,1

Примечание. * – p < 0,05; ** – p < 0,001.



Отношение площади, занимаемой тиреоидными фолликулами, к площади стромы в зависимости от тиреоидной патологии

Если в ЩЖ ПЗЛ это отношение составляет около 2:1, то при АИТХ – 0,7:1, что свидетельствует о высокой активности процесса лимфоидной инфильтрации фолликулярной ткани ЩЖ с разрушением тиреоидных фолликулов. В этой связи мы допускаем, что низкий ИМЛ у больных с АИТХ связан с уменьшением в циркуляции численности сенсibilизированных лейкоцитов, которые «заняты» атакой на тиреоидные фолликулы. По всей видимости, при АИТХ, чем ниже ИМЛ в присутствии РТАГ ЩЖ, тем более нарушена структура тиреоидных фолликулов и тем более тяжелым является аутоиммунный процесс в ткани железы.

В очагах лимфоидной инфильтрации стромы при тиреопатологии идентифицированы как Т-, так и В-лимфоциты. Т-клетки мигрируют с периферии в щитовидную железу и активно участвуют в процессе деструкции тиреоидных фолликулов [11]. Инфильтрирующие ЩЖ лимфоциты оказывают как прямой цитотоксический эффект по отношению к фолликулярным клеткам, так и косвенный, опосредованный продукцией цитокинов [12]. Фолликуляр-

ные Т-клетки хелперны (Т_h), участвуют в формировании антиген-специфической популяции В-клеток за счет продукции IL-21 [13]. Известно, что синтез антител начинается в результате трансформации антиген-презентированной субпопуляции В-клеток в плазмочиты, которые впоследствии и синтезируют иммуноглобулины. Таким образом, в патогенезе аутоиммунного поражения ЩЖ в равной степени участвуют как клеточный, так и гуморальный тип иммунного ответа.

Роль аутоантител в патогенезе тиреоидитов чрезвычайно важна, но до конца не определена. Оказалось, что существует склерозирующее аутоиммунное заболевание ЩЖ, связанное с IgG4. При этом в ткани ЩЖ развивается массивная инфильтрация IgG4-позитивными плазматическими клетками. Морфологически наблюдается более высокая степень фиброза и более распространенная дегенерация фолликулярных клеток по сравнению с не-IgG4 тиреоидитом. [5]. Эти находки еще раз подчеркивают недостаточную изученность вопроса о роли аутоантител в патогенезе тиреоидной патологии, несмотря на то, что они присутствуют в сыворотке крови практически у всех больных с тиреоидной патологией и широко используются в диагностике и прогнозировании развития тиреопатологии, особенно в сочетании с измерением уровня ТТГ.

Но еще менее изучена степень участия в патогенезе тиреоидитов специфически сенсibilизированных к антигенам ЩЖ лимфоцитов. В 1997 г. эти исследования были начаты, но реакции клеточного иммунитета в присутствии тиреоидных антигенов трудоемки, поэтому в практической деятельности почти не использовались [14]. В периферической крови больных АИТХ нами выявлены лейкоциты, сенсibilизированные к РТАГ ЩЖ. Это заставило нас рассмотреть в данном контексте другие заболевания ЩЖ.

Так, при микро-макрофолликулярном зобе с выраженным гиперпластическим процессом в ЩЖ (ГиперпТ) выявлен очень высокий ИМЛ, который составляет $168,3 \pm 9,6\%$ (таблица). Различие достоверно как по отношению к группе ПЗЛ, так и к группе больных АИТХ ($p < 0,05$ и $p < 0,001$ соответственно). При этом морфологическая картина ЩЖ характеризуется значительной гиперплазией паренхимы с узлообразованием, пролиферацией эпителия, полями скопления лимфоцитов, плотно прилегающих друг к другу в виде солидных клеточных тяжей, местами напоминающих структуру фолликула. В участках пролиферации в цитоплазме тиреоцитов увеличено количество зерен РНК, в ядрах – зерен ДНК. Одновременно выявлено наличие фолликулов различной величины, заполненных PAS-положительным коллоидом. Местами имеются признаки пролиферации многорядного эпителия с образованием выростов в просвет фолликула, то есть формированием подушечек Сандерсона. Другими словами наблюдаются признаки повышенной пролиферативной активности в участках пролиферации. При этом объемное отношение ТФ/СТР равно 5:1, то есть в 2,6 раза выше по сравнению с группой ПЗЛ и в 7 раз – по сравнению с группой больных АИТХ (таблица). Выброс в кровотоке большого числа сенсibilизированных лейкоцитов, на наш взгляд, свидетельствует о том, что в процессе деструкции ЩЖ при микро-макрофолликулярном зобе не участвуют. В данном случае активирован гуморальный ответ на аутоантигены ЩЖ и в процессах деструкции ткани участвуют специфические аутоантитела.

При микро-макрофолликулярном зобе с очаговой пролиферацией эпителия в виде сосочков, очагового склероза и гиалиноза стромы, атрофией фолликулярного эпителия ИМЛ составляет $52,7 \pm 4,2$, что достоверно ниже по сравнению с группой ПЗЛ ($p < 0,001$), но отношение ТФ/СТР почти не отличается от такового в группе лиц с гиперпластическим тиреоидитом и составляет 4,5:1 ($p > 0,05$). ИМЛ в этой группе больных практически не отличается от такового в группе больных с АИТХ (таблица), но объемная площадь тиреоидных фолликулов в 1,6 раза выше, а площадь стромы – в 4,6 раза ниже в сравнении с этой группой. Скорее всего, в данном случае в процессе деструкции ткани ЩЖ участвуют как гуморальный, так и клеточный тип иммунного ответа.

Заключение

Аутоиммунная патология щитовидной железы характеризуется лимфоидной

инфильтрацией стромы, в том числе Т- и В-лимфоцитами [1, 11, 15]. Следовательно, в патогенезе аутоиммунного процесса участвуют как клеточный, так и гуморальный иммунитет. Клеточные механизмы деструкции щитовидной железы в настоящее время привлекают все большее внимание. Показано, что при АИТХ Т-клетки мигрируют с периферии в щитовидную железу и активно участвуют в процессе деструкции тиреоидных фолликулов. Причем дефекты Т-регуляторных клеток и повышенная активация фолликулярных Т-хелперов могут играть роль как в инициации, так и поддержании патологического процесса [15].

Инфильтрирующие ЩЖ лимфоциты могут как оказывать прямой цитопатогенный эффект по отношению к фолликулярным клеткам, так и косвенно влиять на жизне-способность и функцию ЩЖ за счет продукции цитокинов. Кроме того идентифицированы фолликулярные Т-клетки хелперы (Tfh), участвующие в формировании антиген-специфической популяции В-клеток за счет продукции IL-21 в [13]. В результате антигенсформированная популяция В-клеток трансформируется в плазмциты и начинается синтез специфических аутоантител, которые играют ключевую роль в диагностике тиреопатологии и прогнозе исхода специфической терапии.

На наш взгляд, столь пристальное внимание к гуморальным факторам иммунитета при тиреоидной патологии не должно исключать интерес к патогенетическому значению циркулирующих лимфоцитов, специфически сенсibilизированных к тканевым антигенам ЩЖ.

В соответствии с клонально-селекционной теорией Ф.М. Бернета в ответ на повреждение тканей ЩЖ в результате внешних или внутренних (например, генетических) факторов освобождаются аутоантигены, они распознаются Т-хелперами и инициируют иммунный ответ. Из классической иммунологии известно, что любой ответ на антиген формируется по двум основным путям – Th1 и Th2. При активации Th1 пути развивается клеточный тип ответа с последующей активацией Fas-рецепторов на тиреоцитах, что приводит к их апоптозу, гибели тиреоидных фолликулов и развитию аутоиммунного процесса, в данном случае аутоиммунного тиреоидита Хашимото. При активации Th2-пути развивается гуморальный тип иммунного ответа с выработкой аутоантител к TSH-рецепторам тиреоцитов с дальнейшей их блокадой или стимуляцией [16]. Процесс гуморальной стимуляции иммунного ответа на тиреоантигены неизбежно заканчивается развитием либо болезни

Грейвса, либо атрофического тиреоидита. Другими словами, тиреопатология иммунологически многокомпонентна и имеет различные пути активации иммунного ответа на тиреоидные антигены и различные варианты исхода этого ответа.

На наш взгляд, величина ИМЛ в присутствии РТА ГЩ довольно четко манифестирует эти процессы. Низкие значения ИМЛ при АИТХ, скорее всего, связаны с атакой тиреоидных фолликулов сенсibilизированными Т-лимфоцитами и резким снижением их выброса в кровоток. При усиленном гипертрофическом процессе в ткани железы (например, при болезни Грейвса) напротив, скорее всего, активируются В-лимфоциты (то есть иммунный ответ идет по Th2-пути), что приводит к усиленному синтезу антител, занятых в атаке на ткань ЩЖ. Сенсibilизированные лейкоциты устремляются в кровоток, и ИМЛ резко увеличивается. При гиперпластическом тиреоидите с выраженным склерозом и гиалинозом стромы иммунный ответ на антигены ЩЖ развивается одновременно по двум направлениям – Th1 и Th2. При этом наблюдается некоторое повышение процессов пролиферации в фолликулах на фоне гиалиноза стромы и самый низкий ИМЛ, что, на наш взгляд, может быть следствием малигнизации ткани железы или предиктором ее развития.

Таким образом, величина индекса миграции лейкоцитов в присутствии тканевого антигена ЩЖ в значительной степени отражает морфологические изменения в ней и может быть использована в качестве предиктора ее патологии. На наш взгляд, косвенным подтверждением данного допущения является выявленная корреляционная зависимость между эхографической картиной ЩЖ и уровнем анти-ТПО у пациентов с аутоиммунным тиреоидитом Хашимото [17].

Список литературы

1. Won Sang Yoo and Hyun Kyung. Recent Advances in Autoimmune Thyroid Diseases. *Endocrinol Metab* (Seoul). 2016. Vol. (3). No. 31. P. 379–385. DOI: 10.3803/EnM.2016.31.3.379.
2. Gerenova J.B., Manolova I.M., Tzoneva V.I. Clinical significance of autoantibodies to parietal cells in patients with autoimmune thyroid diseases // *Folia Med* (Plovdiv). 2013. Vol. 55. P. 26–32.
3. Боташева В.С., Калоева А.А., Эркенова Л.Д. Характер морфологических изменений при эндемическом зобе // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 1. Vol. 1. С. 36–40. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36761> (дата обращения: 25.08.2022).
4. Шагалова Н.Я. Особенности патогенеза аутоиммунных тиреопатий // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26124> (дата обращения: 24.08.2022).
5. Hiromatsu Y., Satoh H., Amino N. Hashimoto's thyroiditis: history and future outlook. *Hormones* (Athens) 2013. No. 12. P. 12–18.
6. Физиология иммунной системы: монография. Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2015. 150 с.
7. Хмельницкий О.К. Цитологическая и гистологическая диагностика заболеваний щитовидной железы. Руководство. СПб.: СОТИС, 2017. URL: <http://szgmu.ru/upload/files/ДПО> (дата обращения: 25.08.2022).
8. Автандилов Г.Г. Основы количественной патологической анатомии: учеб. пособие. Медицина, 2002. 240 с.
9. Плескановская С.А. Клеточный и гуморальный иммунный ответ при кожном лейшманиозе (экспериментальные исследования и наблюдения на больных): автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 1982. 20 с.
10. Фримель Г. Иммунологические методы. М.: Наука, 1987. 397 с.
11. Beń-Skowronek I., Szewczyk L., Kulik-Rechberger B., Korobowicz E. The differences in T and B cell subsets in thyroid of children with Graves' disease and Hashimoto's thyroiditis. *World Journal of Pediatrics*. 2013. No. 9. Vol. 3. P. 245–250. DOI: 10.1007/s12519-013-0398-0.
12. Juan-Sebastián Franco, Jenny Amaya-Amaya, and Juan-Manuel Anaya. Thyroid disease and autoimmune // *Autoimmunity: From Bench to Bedside* [Internet]. Chapter 30 Autoimmunity Bogota (Colombia): El Rosario University Press; 2013 Jul 18.
13. Dong Y.H., Fu D.-G. Autoimmune thyroid disease: mechanism, genetics and current knowledge. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2014. No. 18. P. 3611–3618.
14. Петунина Н.А., Герасимов Г.А. Аутоиммунный тиреоидит: современные представления об этиологии, патогенезе, диагностике и лечении (лекция) // *Проблемы эндокринологии* 1997. № 4. Т. 43. DOI: 10.14341/prob199743430-33.
15. Ajjan R.A., Weetman A.P. The Pathogenesis of Hashimoto's Thyroiditis. *Horm. Metab. Res* 2015. № 47. P. 702–710.
16. Terry F. Davies and Rauf Latif TSH Receptor and Autoimmunity. *Front. Endocrinol*, 30 January 2019. DOI: 10.3389/fendo.2019.00019.
17. Aleksandra Pyzik, Ewelina Grywalska, Beata Matyjaszek-Matuszek, I and Jacek Roliński Immune Disorders in Hashimoto's Thyroiditis: What Do We Know So Far? *J Immunol Res*. 2015. 2015:979167. Published online 2015 Apr 27. DOI: 10.1155/2015/979167PMCID.

УДК 616.24-002.1-036.11-053.2

ПРОЯВЛЕНИЯ НОВОЙ ИНФЕКЦИИ COVID-19 У ДЕТЕЙ**Прокудина М.П., Лобанов Ю.Ф., Скударнов Е.В.,****Диль О.М., Болденкова И.Ю., Скударнова А.П.***ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет»**Министерства здравоохранения Российской Федерации, Барнаул, e-mail: rector@agmu.ru*

Распространенность коронавирусной инфекции среди взрослого и детского населения неодинакова. Характеристика течения заболевания среди детей остается малоизученной. Цель исследования – установить проявления новой коронавирусной инфекции COVID-19 у детей. Под нашим наблюдением находился 231 ребенок. Средний возраст – $12 \pm 3,7$ лет. В ходе исследования дети распределились на три группы: первая – дети, наблюдаемые по контакту (213 детей), вторая – дети с пневмонией, ассоциированной с COVID-19 (14 детей), третья – дети с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19 (4 ребенка). У всех детей изучался анамнез жизни и заболевания, проводился анализ клинической картины, лабораторных и инструментальных показателей. По результатам исследования установлено, что контактных детей с отрицательным результатом мазка встречалось статистически значимо больше 73% ($p < 0,01$), чем с положительным результатом 26%. Среди детей с пневмонией за период пандемии статистически значимо чаще встречалась не ассоциированная с COVID-19 пневмония – 77% ($p < 0,01$). Выявлены и оценены различия в клинико-лабораторном течении COVID-19-ассоциированной и не ассоциированной пневмонии. У детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, в клиническом течении статистически значимо чаще наблюдались явления интоксикации (субфебрильная температура, кашель, слабость ($p < 0,01$), а также воспалительные изменения в крови, чем у детей с пневмонией, ассоциированной с COVID-19.

Ключевые слова: коронавирусная инфекция, дети, пневмония

MANIFESTATIONS OF NEW COVID-19 INFECTION IN CHILDREN**Prokudina M.P., Lobanov Yu.F., Skudarnov E.V.,****Dil O.M., Boldenkova I.Yu., Skudarnova A.P.***Altai State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Barnaul, e-mail: rector@agmu.ru*

The prevalence of coronavirus infection among adults and children is not the same. Characteristics of the course of the disease among children remains poorly understood. The purpose of the study: to establish the manifestations of a new coronavirus infection COVID-19 in children. Under our supervision there were 231 children. The average age is 12 ± 3.7 years. During the study, the children were divided into 3 groups: the first – children observed by contact (213 children), the second – children with pneumonia associated with COVID-19 (14 children), the third – children with pneumonia not associated with COVID-19 (4 children). In all children, the anamnesis of life and disease was studied, the analysis of the clinical picture, laboratory and instrumental indicators was carried out. According to the results of the study, it was found that contact children with a negative smear result were statistically significantly more than 73% ($p < 0.01$) than with a positive result of 26%. Among children with pneumonia during the pandemic period, pneumonia not associated with COVID-19 was statistically significantly more common – 77% ($p < 0.01$). Differences in the clinical and laboratory course of COVID-19-associated and non-associated pneumonia were identified and evaluated. In children with pneumonia not associated with COVID-19, in the clinical course, intoxication events were statistically significantly more common (subfebrile temperature, cough, weakness ($p < 0.01$), as well as inflammatory changes in the blood, than in children with pneumonia associated with COVID-19.

Keywords: coronavirus infection, children, pneumonia

Среди всех случаев заражения COVID-19 на долю детского населения приходится в среднем от 1 до 6%. Дети переносят заболевание в более легкой форме, а процент летальности по сравнению с взрослым населением крайне низок [1].

При анализе данных литературы о проявлении COVID-19 у детей отмечено, что коронавирусная инфекция в детском возрасте имеет свои особенности. В отличие от взрослых инфекция протекает в сравнительно легкой форме и чаще бессимптомно [2].

Особенности течения коронавирусной инфекции у детей связаны с некоторыми факторами, присущими только детскому организму: анатомо-физиологическими осо-

бенностями иммунного ответа, отсутствием хронических заболеваний со стороны дыхательных путей и с факторами риска, усугубляющими проявления заболеваний системы органов дыхания (курение, профессиональные вредности). Имеют значение возрастные особенности функционирования ангиотензинпревращающего фермента (АПФ-2). АПФ-2 по своей структуре является белком. В патогенезе коронавирусной инфекции данный белок выступает в роли рецептора, к которому фиксируются вирусные клетки, благодаря чему происходит распространение инфекции в организме. Преимущественная локализация АПФ-2 – эпителий верхних и нижних дыхательных путей. У детей до 12 лет уровень АПФ-2 ре-

цепторов ниже, чем у взрослых. Поэтому данная инфекция в детском возрасте проявляется как простудное заболевание, редко приводящее к осложнениям.

По данным ученых из Оксфордского университета, с возрастом в организме происходят структурные изменения иммунной системы, приводящие к риску развития тяжелых форм проявления заболевания. Поскольку в тяжелой форме заболевание может протекать и у молодежи, старение – однозначно не единственная причина усиленной атаки коронавируса [3].

В связи с незрелостью основных систем организма у детей наблюдается специфическая клиническая картина по сравнению с взрослыми. Нервная система, находясь в периоде становления, не способна дать мощный «цитокиновый» ответ при заражении. Состояние дыхательной системы, отсутствие возрастных отягощающих факторов со стороны сердечно-сосудистой системы дают детям преимущество в борьбе с коронавирусной инфекцией [4].

COVID-19 в возрасте от 1 месяца до 12 лет протекает в легкой форме, такие осложнения, как пневмония, встречаются редко. Показатели летальности среди детей крайне низкие [5].

Однако, несмотря на обнадеживающие факты, ребенок с признаками коронавирусной инфекции должен находиться под бдительным наблюдением педиатра.

Тщательный контроль и наблюдение за детьми с признаками COVID-19 связаны с тем, что у части детей может развиваться такое осложнение, как мультисистемный воспалительный синдром (МСВС). МСВС представляет собой гиперовоспалительную реакцию, в ходе которой развиваются полиорганные нарушения. У детей этот синдром развивается через 4–6 недель после острой фазы, при том, что инфекция могла протекать бессимптомно [6].

Дети постарше являются главными разносчиками вируса. Однако, если вовремя обследовать ребенка, можно избежать перехода болезни в тяжелую форму и заражения других членов семьи.

В связи со специфичностью проявлений у детей заболевание трудно диагностировать и вовремя принять меры по предотвращению распространения его среди населения [6, 7].

Поэтому изучение клинического течения коронавирусной инфекции у детей в период пандемии является актуальной задачей.

Цель исследования – установить проявления новой коронавирусной инфекции COVID-19 у детей.

Задачи исследования:

- оценить клинические проявления заболевания у детей, наблюдаемых по контакту;
- определить различия в клинико-лабораторном проявлении пневмонии, ассоциированной и не ассоциированной с COVID-19.

Материалы и методы исследования

Под нашим наблюдением находился 231 ребенок. Сформированы три группы: в первую группу входили контактные дети без признаков пневмонии (213 детей), во вторую группу входили дети с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19 (14 детей), в третью группу вошли дети с пневмонией, ассоциированной с COVID-19 (4 ребенка).

В соответствии с целью работы были применены общеклинические, лабораторные, инструментальные методы исследования. Анализировались результаты анамнеза жизни, осмотра, перкуссии, пальпации, аускультации. Период наблюдения: с марта по ноябрь 2020 г.

Всем больным проводились общеклинические лабораторные исследования: общий клинический анализ крови (ОАК), общий анализ мочи (ОАМ). Серологическая диагностика коронавирусной инфекции проводилась путем забора мазка из носоглотки методом ПЦР на РНК SARS-CoV-2 (лаборатория детской поликлиники № 10, г. Барнаул, рабочий поселок Южный).

Состояние органов дыхательной системы и наличие очаговых изменений уточняли с помощью рентгенографии органов грудной клетки. Рентгенологическое исследование легких проводилось на цифровом рентгеновском аппарате «Jumong E».

Статистическая обработка проводилась методом вариационной статистики. Для описания распределений применяли среднее арифметическое значение (M), стандартную ошибку среднего (m). χ^2 -критерий Пирсона использовали для определения расхождения двух и более эмпирических распределений. Достоверность различий между эмпирической и теоретической частотой по каждому признаку определялась по таблице критических значений с определением уровня статистической значимости (по Л.Н. Большову, Н.В. Смирнову, 1983). Значения $p < 0,05$ рассматривались как значимые.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования показали, что в структуре обследованных детей, наблюдаемых по контакту (213 детей), преобладали девочки ($\chi^2 = 28,2$, $p < 0,01$). Средний возраст – $12 \pm 3,7$ лет.

Таблица 1

Распределение обследуемых детей по возрасту и полу абс. (%)

Возрастной период	Дети, наблюдаемые по контакту (n = 213)		Дети с пневмонией (n = 18)	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки
Предшкольный (1–3 года)	0 (0)	14 (6,5)	2 (11,1)	2 (11,1)
Дошкольный (3–7 лет)	20 (9,3)	44 (20,6)	5 (27,7)	7 (38,8)
Младший школьный возраст (7–11 лет)	17 (7,9)	38 (17,8)	0 (0)	1 (5,5)
Старший школьный возраст (12–17 лет)	14 (6,5)	66 (30,9)	0 (0)	1 (5,5)
Всего	51 (23,9)	162 (76)	7 (38,8)	11 (61,1)

* $p < 0,01$ – подсчитано методом χ^2 – критерий Пирсона.

Таблица 2

Клинические проявления коронавирусной инфекции у контактных детей (n = 165)

Клинические проявления	Контактные дети с положительным результатом мазка (n = 44) абс. (%)	Контактные дети с отрицательным результатом мазка (n = 121) абс. (%)
Температура – нормальная – субфебрильная – фебрильная	7 (15,9) 33 (75) 4 (9,09)	107 (88,4) 14 (11,5) 0 (0)
Слабость	28 (63,6)	72 (59,5)
Головная боль	18 (40,9)	69 (57,0)
Кашель – сухой – влажный – нет кашля	38 (86,3) 6 (13,6) 0 (0)	35 (28,9) 15 (12,3) 71 (58,6)
Ринит	38 (86,3)	92 (76,0)
Потеря вкуса и обоняния	12 (27,2)	2 (1,6)
Одышка	1 (2,2)	0 (0)
Миалгия	1 (2,2)	4 (3,3)

* $p < 0,01$ – подсчитано методом χ^2 -критерий Пирсона.

Среди детей, наблюдаемых с диагнозом пневмония, также преобладали девочки ($p < 0,01$) (табл. 1).

В зависимости от результатов ПЦР для выявления РНК коронавируса дети были поделены на 2 подгруппы. Первая подгруппа контактных детей с положительным результатом мазка на COVID-19 – 44 ребенка (20,6%) и вторая подгруппа детей с отрицательным результатом мазка – 121 ребенок (56,8%). Среди детей с положительным результатом мазка (44 ребенка) наблюдалось как бессимптомное течение коронавирусной инфекции у 25 детей, так и с клиническими проявлениями у 19 детей. Контактных детей с отрицательным результатом мазка оказалось статистически значимо больше 73% ($\chi^2 = 22,3$, $p < 0,01$), чем детей с положительным результатом мазка – 26% (табл. 2).

Как видно из табл. 2, нормальная температура тела встречалась статистически

значимо чаще у контактных детей с отрицательным результатом мазка ($\chi^2 = 13,8$, $p < 0,01$), субфебрильная температура наблюдалась у детей с положительным результатом, так же как и фебрильная. Отсутствие кашля статистически значимо чаще было у детей с отрицательным результатом мазка ($\chi^2 = 11$, $p < 0,01$), сухой редкий кашель чаще наблюдался в группе с положительным результатом.

Среди детей с пневмонией статистически значимо чаще встречалась пневмония, не ассоциированная с COVID-19, чем ассоциированная ($\chi^2 = 30,54$, $p < 0,01$).

Изучение анамнестических данных у детей, наблюдаемых с диагнозом пневмония, выявило, что такие показатели, как ранний перевод на искусственное вскармливание (54%) и частые эпизоды острых респираторных инфекций (более четырех в год) (35%), являются наиболее значимы-

ми в отношении риска развития пневмонии ($p < 0,01$). Среди других факторов риска выделены патологическое течение беременности – 43% и неблагоприятные социально-бытовые условия – 21%.

Как видно из табл. 3, у детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, статистически значимо чаще встречалась субфебрильная температура ($\chi^2 = 11, p < 0,01$) и влажный малопродуктивный кашель ($\chi^2 = 18,6, p < 0,01$).

По аускультативной картине среди детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, статистически значимо чаще

выслушивалось везикулярное и жесткое дыхание при отсутствии хрипов ($\chi^2 = 32,8, p < 0,01$), чем другие аускультативные формы. Рентгенологическая картина у детей статистически значимо чаще была представлена правосторонней нижнедолевой и левосторонней сегментарной формами ($\chi^2 = 32,8, p < 0,01$) (табл. 4).

Аускультативная картина у всех четырех детей с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, была самая разнообразная. У всех детей в этой группе наблюдалась правосторонняя сегментарная форма пневмонии согласно рентгенологической картине (табл. 5).

Таблица 3

Клинические признаки у детей с пневмонией

Клинические признаки	Дети с пневмонией, ассоциированной с COVID-19 (n = 4) абс. (%)	Дети с пневмонией, ассоциированной с COVID-19 (n = 14) абс. (%)
Температура		
– нормальная	3 (75)	2 (14,2)
– субфебрильная	1 (25)	8 (57,1)
– фебрильная	0 (0)	4 (28,5)
Слабость	2 (50)	8 (57,1)
Головная боль		4 (28,5)
Кашель		
– сухой	2 (50)	4 (28,5)
– влажный	2 (50)	10 (71,4)
– нет кашля	0 (0)	0 (0)
Ринит	0 (0)	10 (71,4)
Потеря вкуса и обоняния	0 (0)	0 (0)
Одышка	2 (50)	0 (0)
Миалгия	0 (0)	0 (0)

* $p < 0,01$ – подсчитано методом χ^2 -критерий Пирсона.

Таблица 4

Описание рентгенологической и аускультативной картины у детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19

	Пациент (n = 14) абс. (%)
Описание рентгенологической картины	
Правосторонняя верхнедолевая пневмония	3 (21,4)
Правосторонняя нижнедолевая пневмония	6 (42,8)
Левосторонняя сегментарная пневмония	5 (35,7)
Описание аускультативной картины	
Ослабленное дыхание, хрипы не выслушиваются	1 (7,1)
Жесткое дыхание, хрипы не выслушиваются	5 (35,7)
Влажные единичные хрипы	1 (7,1)
Везикулярное дыхание, хрипы не выслушиваются	6 (42,8)
Сухие рассеянные хрипы	1 (7,1) в анамнезе бронхиальная астма*

Таблица 5

Описание рентгенологической и аускультативной картины у детей с пневмонией, ассоциированной с COVID-19

	Пациент (n = 4) абс. (%)
Описание рентгенологической картины	
Правосторонняя среднедолевая пневмония	1 (25)
Правосторонняя полисегментарная пневмония (S 9–10)	1 (25)
Правосторонняя нижнедолевая сегментарная	2 (50)
Описание аускультативной картины	
Ослабленное дыхание, хрипы не выслушиваются	1 (25)
Жесткое дыхание, хрипы не выслушиваются	1 (25)
Влажные хрипы во всех отделах	1 (25)
Везикулярное дыхание, хрипы не выслушиваются	1 (25)

Таблица 6

Данные лабораторного анализа у детей с пневмонией

Пациент	Показатель		
Пневмония, не ассоциированная с COVID-19 (n = 14)			
	Лейкоциты, 10 ⁹ /л	Гемоглобин, г/л	СОЭ, мм\час
1	19*	110	20*
2	13*	126	19*
3	5	109	9
4	15*	122	27*
5	9	117	6
6	16*	128	19*
7	21*	130	32*
8	7	121	7
9	19*	137	37*
10	17*	116	21*
11	20*	122	29*
12	22*	143	40*
13	4	119	7
14	6	98	9
Пневмония, ассоциированная с COVID-19 (n = 4)			
1	22*	126	19*
2	6	117	8
3	24*	109	27*
4	9	118	6

(*) – показатели, превышающие возрастную норму

В лабораторных анализах у детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, чаще встречались воспалительные изменения в крови – у 9 детей из 14 (64,2%) (ускорение СОЭ, лейкоцитоз), чем у детей с пневмонией, ассоциированной с COVID-19 – у двух детей из четырех.

В ходе изучения данных мировой статистики по вопросам течения коронавирусной инфекции у детей и анализа результатов, полученных в нашем исследовании, выяснилось, что наша работа подтверждает основные предположения о характеристике течения COVID-19 среди детского населения: коронавирусная инфекция у детей встречается реже, протекает в более легкой форме по сравнению с взрослыми, редко имеются осложнения в виде пневмонии.

Вывод о том, что дети переносят заболевание в более легкой форме, подтверждают китайские исследователи. Так, согласно результатам китайского Центра по контролю и профилактике заболеваний, в Китайской Народной Республике (КНР) с момента начала эпидемии коронавирусная инфекция была установлена в 2,2% случаев у лиц в возрасте до 19 лет, чаще – у детей старше 10 лет. Первые отчеты наблюдений, зафиксированных в КНР среди пациентов в возрасте до 18 лет, были значительно ниже – 0,25%. Но эти показатели также значительно ниже результатов по взрослым пациентам. В настоящее время в мире зафиксировано более 5 млн заболевших и более 328 тыс. (6,6%) смертельных исходов (по данным Роспотребнадзора смертность в РФ составляет 0,98%). При этом как среди заболевших, так и при анализе смертельных исходов на долю детей приходится значительно меньше случаев, чем на взрослое население [8].

К тому же китайские и европейские исследования указывают не только на малосимптомность клинической картины, но и на низкую распространенность коронавирусной инфекции среди детского населения. В странах Европы заболеваемость в детской популяции невысока. По результатам исследований, в Швейцарии случаи заражения детей в возрасте до 10 лет составляют 0,4%, среди пациентов 10–19 лет – 2,6% всех наблюдаемых с COVID-19. Швеция представила данные о 0,5% детей до 10 лет среди заболевших и 1,3% – в возрасте 10–19 лет. В Испании пациенты до 18 лет составили 0,8% всех заболевших [9]. На распространенность коронавирусной инфекции среди детского населения указывают результаты, проведенные в статье W. Liu et al. Под наблюдением находилось 366 де-

тей госпиталя города Ухань. На тот момент (2020 год) коронавирусная инфекция была диагностирована у 6 детей [10, 11].

По результатам нашего исследования дети редко имеют клинические проявления COVID-19. Из 44 детей с положительным результатом мазка только у 19% наблюдались клинические признаки заболевания. Дети чаще, чем взрослые, могут являться бессимптомными носителями (или COVID-19 у детей часто протекает без таких симптомов, как лихорадка, кашель, затруднение дыхания). В ходе нашего исследования выяснилось, что среди 44 детей с положительным результатом мазка 25 детей не имели никаких клинических проявлений.

Что касается тяжести течения и наличия осложнений заболевания, опыт разных стран в период пандемии показывает, что у детей по сравнению с взрослыми отмечается более легкое течение болезни, развитие вирусной пневмонии встречается сравнительно редко, симптомы обычно не тяжелые, летальные исходы чрезвычайно редки [12].

Наше исследование соответствует результатам ученых разных стран по вопросам тяжести течения COVID-19 среди детского населения. Так, из 231 ребенка только у четырех за весь период пандемии диагностировали пневмонию, ассоциированную с COVID-19, но течение ее было не тяжелым, и состояние этих пациентов не требовало госпитализации.

Заключение

1. У детей, наблюдающихся по контакту, с положительным результатом мазка на COVID-19 в клинической картине статистически значимо чаще встречалась субфебрильная температура и сухой редкий кашель ($p < 0,01$). У детей с отрицательным результатом мазка чаще наблюдалась нормальная температура при наличии ринита, слабости и головной боли ($p < 0,01$).

2. У детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, в клинической картине статистически значимо отмечалась субфебрильная температура и влажный кашель ($p < 0,01$) при отсутствии признаков дыхательной недостаточности ($p < 0,01$). У детей с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, заболевание протекало на фоне нормальной температуры при наличии кашля. В половине случаев у детей в этой группе наблюдалась одышка. Воспалительные

изменения в анализах крови чаще наблюдались у детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19.

У всех детей с пневмонией, ассоциированной с COVID-19, рентгенологическая картина была представлена правосторонней сегментарной формой пневмонии ($p < 0,01$). Среди детей с пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, статистически значимо чаще наблюдались правосторонняя нижнедолевая и левосторонняя сегментарная формы пневмонии ($p < 0,01$).

Список литературы

1. World Health Organization (WHO) Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (дата доступа 31.03.2022).
2. Мазанкова Л.Н., Османов И.М., Самитова Э.П., Недостоев А.А., Котенко С.О., Куличкина О.С. Течение коронавирусной пневмонии у подростка из очага инфекции // *Детские инфекции*. 2020. № 19 (3). С. 68–72.
3. Yi Y., Lagniton P.N.P., Ye S., Li E., Xu R.H. COVID-19: what has been learned and to be learned about the novel coronavirus disease. *Int J Biol Sci*. 2020. No. 16 (10). P. 1753–1766. DOI: 10.7150/ijbs.45134.
4. Hennon T.R., Penque M.D., Abdul-Aziz R., Alibrahim O.S., McGreevy M.B., Prout A.J., Schaefer B.A., Ambrosko S.J., Pastore J.V., Turkovich S.J., Gomez-Duarte O.G., Hicar M.D. COVID-19 associated Multisystem Inflammatory Syndrome in Children (MIS-C) guidelines; a Western New York approach. *Prog Pediatr Cardiol*. 2020 May 23:101232. DOI: 10.1016/j.ppedcard.2020.101232.
5. Riphagen S., Gomez X., Gonzalez-Martinez C., Wilkinson N., Theocharis P. Hyperinflammatory shock in children during COVID-19 pandemic. *Lancet*. 2020. No. 395 (10237). P. 1607–1608. DOI: 10.1016/S01406736(20)31094-1.
6. Letko M., Marzi A., Munster V. Functional assessment of cell entry and receptor usage for SARS-CoV-2 and other lineage B beta-coronaviruses. *Nat Microbiol*. 2020. No. 5 (4). P. 562–569. DOI: 10.1038/s41564-020-0688-y.
7. Baez D. Clinical findings of 6 children with COVID-19, risks factors associated with COVID-19 death, and detection of SARS-CoV-2 in different clinical specimens. 2020.
8. Shen K., Yang Y. Diagnosis and treatment of 2019 novel coronavirus infection in children: a pressing issue. *World J Pediatr*. 2020. No. 1–3. DOI: 10.1007/s12519-020-00344-6.
9. Zhang Y.P. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China. *Chin J Epidemiol*. 2020. No. 41. P. 145–151.
10. Worcester S. COVID-19 characteristics differ in children vs adults. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.medscape.com/viewarti-cle/926805> (дата обращения: 27.09.2022).
11. Brodin P. Why is COVID-19 so mild in children? *Acta Paediatr*. 2020 Mar 25. DOI: 10.1111/apa.15271 Ludvigsson JF. Systematic review of COVID-19 in children shows milder cases and a better prognosis than adults. *Acta Paediatr*. 2020 Mar 23. DOI: 10.1111/apa.15270.
12. Cao Q., Chen Y.C., Chen C.L., Chiu C.H. SARS-CoV-2 infection in children: Transmission dynamics and clinical characteristics. *J Formos Med Assoc*. 2020 Mar 2. No. 119 (3). P. 670–673. DOI: 10.1016/j.jfma.2020.02.009.

УДК 616.366-003.7-06:616.34-007.27-02-089

АРТЕРИО-КИШЕЧНАЯ ФИСТУЛА – ПРИЧИНА КРОВОТЕЧЕНИЯ ИЗ ДИСТАЛЬНЫХ ОТДЕЛОВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

^{1,3}Федотова Е.В., ²Петрушин А.Л., ¹Попов В.А.,

³Анкудинова И.С., ⁴Авалиани В.М., ⁵Хидиятов И.И.

¹ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», Архангельск,
e-mail: elena.liza2011@yandex.ru, na.popova2017@yandex.ru;

²ГБУЗ Архангельской области «Карпогорская центральная районная больница»,
Карпогоры, e-mail: petrushin.59@mail.ru;

³ГБУЗ Архангельской области «Северодвинская клиническая больница № 2
скорой медицинской помощи», Северодвинск, e-mail: patankudinova1982@yandex.ru;

⁴ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: vitaevm@mail.ru;

⁵ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», Уфа,
e-mail: hidiatoff.ildar@yandex.ru

Развитие ангиохирургии и вмешательств на аорте привело к появлению такого грозного осложнения, как артерио-кишечные свищи. Цель настоящей статьи – напомнить практическим врачам о возможности такого осложнения, его диагностике и тактических решениях. Представлен клинический случай артерио-кишечного свища и краткий обзор литературы. Пациент 79 лет госпитализирован с клиникой рецидивирующего кишечного кровотечения. В анамнезе за 9 месяцев до настоящей госпитализации выполнено аорто-бифуркационно-бедренное аллопротезирование по поводу расслаивающей аневризмы грудного отдела аорты. Перед выпиской по данным магнито-резонансной компьютерной томографии патологии не выявлено. В связи с рецидивом кровотечения оперирован в экстренном порядке, выявлена обширная забрюшинная гематома с признаками инфицирования. Летальный исход через два часа после операции. При аутопсии выявлен артерио-сигмовидный свищ. Литературные данные свидетельствуют о редкости и высокой летальности при артерио-кишечных свищах. Основными методами их диагностики является рентген-спиральная компьютерная томография (РСКТ) и диагностическая лапаротомия. У пациентов с кишечным кровотечением и протезированием аорты в анамнезе необходимо исключать наличие артерио-кишечного свища. Оказывать помощь таким пациентам необходимо мультидисциплинарной бригадой специалистов.

Ключевые слова: артерио-кишечный свищ, толстокишечный свищ, кишечное кровотечение, осложнения протезирования аорты

ARTERIO-INTESTINAL FISTULA – THE CAUSE OF THE LOW GASTROINTESTINAL BLEEDING

^{1,3}Fedotova E.V., ²Petrushin A.L., ¹Popov V.A.,

³Ankudinova I.S., ⁴Avaliani V.M., ⁵Khidiyatov I.I.

¹Northern State Medical University, Arkhangelsk,
e-mail: elena.liza2011@yandex.ru, na.popova2017@yandex.ru;

²Karpogory Central Regional Hospital, Kargopory, e-mail: petrushin.59@mail.ru;

³Severodvinsk Emergency Clinical Hospital no. 2, Severodvinsk, e-mail: patankudinova1982@yandex.ru;

⁴Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, e-mail: vitaevm@mail.ru;

⁵Bashkir State Medical University, Ufa, e-mail: hidiatoff.ildar@yandex.ru

The development of angiosurgery and interventions on the aorta has led to the emergence of such a formidable complication as arterio-intestinal fistulas. The purpose of this article is to remind practitioners about the possibility of the existence of this pathology, its diagnosis and tactical decisions. A clinical case of aorto-intestinal fistula and a brief review of the literature are presented. A 79-year-old patient was hospitalized with a clinic of recurrent intestinal bleeding. In the anamnesis, 9 months before the present hospitalization, aorto-bifurcation-femoral alloprosthesis was performed for a dissecting aneurysm of the thoracic aorta. Before discharge, according to magnetic resonance computed tomography, no pathology was detected. In connection with the recurrence of bleeding operated on an emergency basis, revealed an extensive retroperitoneal hematoma with signs of infection. Lethal outcome 2 hours after surgery. Autopsy revealed an aorto-sigmoid fistula. Literature data indicate a rarity and high mortality in aorto-intestinal fistulas. The main methods of their diagnosis are X-ray spiral computed tomography (RSCT) and diagnostic laparotomy. In patients with intestinal bleeding and a history of aortic prosthetics, the presence of an aorto-intestinal fistula should be excluded. It is necessary to provide assistance to such patients by a multidisciplinary team of specialists.

Keywords: aortoenteric fistula, colon fistula, intestinal bleeding, aortic prosthetic complications

Цель настоящей статьи – напомнить практическим врачам о возможности такого осложнения, ее диагностике и тактических решениях.

Впервые вторичный аорто-кишечный свищ описал Vjrook в 1953 г. [1]. Начальная симптоматика фистулизации отличается вариабельностью, преобладают мелена и гематомезис, на этом фоне у одной трети пациентов развивается геморрагический шок [1, 2]. Заболевание может начинаться с кровотечения-предшественника, что побуждает врача к обследованию и уточнению источника. Данное кровотечение предшествует массивной геморрагии, ведущей к лапаротомии или гибели пациента, встречается по данным литературы в 54% случаев [1].

Инфекционные проблемы (локальные или распространенные) могут быть первыми признаками фистулы [3]. Возможно сочетание нескольких симптомов у одного пациента. Кроме признаков кишечного кровотечения могут быть следующие симптомы: боли в спине, животе, снижение гемоглобина без явных признаков кровотечения, пульсирующее образование в брюшной полости, анорексия, гипертермия [4, 5].

По локализации вторичные артерио-кишечные фистулы наиболее часто локализируются в двенадцатиперстной кишке, затем по частоте встречаемости тощая кишка, реже толстая кишка. Крайне редко формируется свищ с желудком, червеобразным отростком или два свища [1, 5].

Исход зависит от своевременности постановки диагноза. Наибольшей диагностической точностью обладает диагностическая лапаротомия [1, 3]. Однако, если толстая кишка не была ревизована, кровотечение продолжалось и диагноз устанавливался уже при аутопсии. Наибольшей диагностической ценностью, как уже сказано, обладает диагностическая лапаротомия при соблюдении методики ревизии органов брюшной полости. Следующий метод диагностики – компьютерная томография (КТ) органов брюшной полости. При данном исследовании специалистам следует искать косвенные признаки осложнения: тесный контакт между кишкой и протезом, признаки инфекции, утечки контраста и др. Непосредственно свищ даже при ангиографии редко удается увидеть, но подозрение может усилить наличие аневризмы в области анастомоза. Ангиография, как метод диагностики уступает двум вышеперечисленным, кроме того этот метод диагностики доступен лишь в специализированных сосудистых центрах при наличии рентгенангиохирургических методик [6, 7].

Патогенез образования свища сложен, в его развитии играет роль ряд факторов. Местная инфекция, прямое повреждение кишки, травматизация кишки псевдоаневризмой анастомоза, швами, фиброзный контакт между протезом и кишкой. Осложнения могут развиваться и после эндоваскулярной реконструкции аорты из-за давления и эрозии стента или при развитии аневризмы вследствие расслоения [8].

С учетом высокой клинической настороженности диагностический поиск следует проводить целенаправленно, например при эндоскопии следует уделять внимание осмотру дистальной части двенадцатиперстной кишки, где локализуется большинство свищей. В диагностике необходимо учитывать также, что свищ может располагаться в любом отделе ЖКТ, но двенадцатиперстная кишка, в связи с анатомическими особенностями, является доминирующей локализацией. В редких случаях может быть два свища. Ценными могут быть современные диагностические опции, обещающие результаты получены при комбинации позитронно-эмиссионной томографии с фтор-глюкозой и КТ.

Клинический случай

Пациент Ч. 79 лет доставлен в приёмный покой с жалобами на боли в спине, животе, тошноту, рвоту, слабость. В течение месяца беспокоят боли в спине – принимал кеторол, пенталгин. Оmez принимал периодически. Также получает эликвис 2,5 мг утром. Ухудшение 2 дня – рвота, стул темного цвета.

Анамнез – инвалид I группы по зрению (полная слепота на оба глаза). Мультифокальный атеросклероз. Ишемическая болезнь сердца. Стенокардия напряжения. ФК II. ХСН II А. ФКII. Гипертоническая болезнь III, риск 4. Атеросклеротическая мешковидная аневризма инфраренального отдела аорты больших размеров, кальциноз и стеноз подвздошных артерий до 75–80%, окклюзия поверхностной бедренной артерии (ПБА) обеих нижних конечностей, стенозы начальных отделов глубокой бедренной артерии (ГБА) до 75%. Ожирение II ст. Состояние после операции (СПО) – срочное аорто-бифemorально-бедренное аллопротезирование (АББАП) протезом Экофлон 20x10x10 см, перевязка нижней брыжеечной артерии (НБА) (за 9 месяцев до настоящей госпитализации).

На 11 сутки послеоперационного периода выполнялась мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) органов брюшной полости и забрюшинного пространства без контрастирования. Заключение: СПО,

АББАП по поводу аневризмы инфраренального отдела аорты. Определяется мешотчатая аневризма инфраренального отдела аорты (ниже места вшивания протеза), содержит воздух, небольшой отёк окружающей клетчатки. Данных за забрюшинную гематому нет, крови в брюшной полости не выявлено. Выписан в удовлетворительном состоянии.

Общий статус: Кожный покров и видимые слизистые оболочки чистые, бледные, тургор снижен. Т – 37,3. Периферические лимфатические узлы не пальпируются. Дыхание проводится во все отделы, везикулярное с жестким компонентом, ослаблено слева. Пульс 18 в минуту. Хрипов нет. Тоны сердца приглушенные. АД = 110/60 мм рт. ст. Пульс 100 в мин. Губы сухие с черными корками. Язык сухой с коричневым налётом. Живот правильной формы, симметричный, участвует в акте дыхания, не вздут, мягкий, болезненный во всех отделах. Перитонеальные симптомы отрицательные. Перистальтика выслушивается, вялая. Печень по краю рёберной дуги. Мочеиспускание не нарушено, диурез адекватный. Перкуссия поясничных областей безболезненна. Стул жидкий, тёмного цвета.

PR: тонус сфинктера снижен, патологических образований не выявлено, на перчатке кал жидкий черно-вишневого цвета.

Госпитализирован в отделение реанимации (ОАР) с клиникой кишечного кровотечения. В ОАК: гематокрит – 31,1%, гемоглобин – 108 г/л, лейкоциты – $24,6 \times 10^9$, лимфоциты – $1,3 \times 10^9$, лимфоциты – 5,5%, тромбоциты – 136×10^9 , эритроциты – $3,89 \times 10^{12}$. Назначено СИО! фиброгастродуоденоскопия (ФГДС), фиброколоноскопия (ФКС).

ФГДС – Местная анестезия 10% раствором лидокаина (спрей). Пищевод свободно проходим, в просвете – натошачковая слизь с примесью зелени, слизистая его в средней и дистальной трети со сливными эрозиями, циркулярные в дистальной трети, эрозии под фибрином и гематином, при осмотре не кровоточат, кардия смыкается не полностью, Z-линия неровная. Желудок расправился воздухом, в просвете – умеренное количество мутной жидкости с примесью гематина, желчи. Слизистая светло-розовая, с участками атрофии во всех отделах. Складки сглажены, перистальтика проводится циркулярно, стенка желудка эластичная. Привратник смыкается, округлой формы. Луковица двенадцатиперстной кишки (ЛДПК) деформирована за счет взбухания верхней и задней стенки до 1,5 см, слизистая в области взбухания отечна, без воспаления. Слизистая ЛДПК

светло-розовая. В постбульбарном отделе слизистая розовая, складки обычные, перистальтика циркулярная, папилла не взбухает, желчь есть. Заключение: Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь (ГЭРБ) тип D, эрозивный эзофагит. Хронический атрофический гастрит. Подслизистое новообразование в области луковицы двенадцатиперстной кишки, сдавливание извне?

Ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости: пациент осмотрен в отделении реанимации, лежа на спине. Заключение: Эхопризнаки гепатоспеленомегалии, диффузных изменений печени, хронического панкреатита, хронического холецистита, деформация желчного пузыря.

ФКС: При осмотре области ануса – спаившийся геморроидальный узел 0,5 см. При пальцевом ректальном исследовании тонус сфинктера сохранён, исследование безболезненно, нависания стенок кишки нет. В просвете прямой кишки – кровь, сгустки крови, отмывание неэффективно, из проксимальных отделов кишки поступает темная кровь, просвет кишки не визуализировать, исследование провести невозможно. Заключение: Неполный осмотр. Кишечное кровотечение. Хронический наружный геморрой.

Лечение в условиях отделения реанимации: инфузионная терапия сбалансированными растворами, трансфузионная терапия по показаниям, коррекция водно-электролитных расстройств, антисекреторная терапия (омепразол), гемостатическая терапия (транексам, дицинон), системная анальгезия (трамадол), подготовка к выполнению колоноскопии (очистительные клизмы), контроль лабораторных данных, витальных функций. Кровотечение остановилось. Состояние стабильное, в условиях ОАР. Дыхание спонтанное, SpO₂ 96–97%, АД на уровне 110/70 мм рт. ст. Пульс 70–77 уд/мин. Гемоглобин 108–118 г/л, эритроциты $3,89–4,19 \times 10^9$.

За время нахождения в ОАР пациент гемодинамически стабилен: АД 127/68 мм рт. ст., пульс 77 уд/мин, удовлетворительного наполнения. Живот не вздут, болезненный при пальпации во всех отделах, перистальтика не выслушивается. Перитонеальные симптомы отрицательные. Моча по мочевому катетеру, светлая. Дыхательный алкалоз. Готовится к колоноскопии очистительными клизмами, кровотечение не рецидивирует. Пациент в стабильном состоянии переведён в хирургическое отделение (х.о.) планируется ФКС.

В отделении после перевода из ОАР рецидив болевого синдрома, интенсивные боли в спине, животе по визуаль-

но-аналоговой шкале (ВАШ) 8 баллов. При осмотре: общее состояние тяжелое, в сознании, контактен. Шкала ком Глазго (ШКГ) – 15 баллов. Питание удовлетворительное. Кожный покров и видимые слизистые оболочки мраморно-бледные. Температура тела N. Периферические лимфатические узлы не пальпируются. Дыхание проводится во все отделы, жесткое, ослаблено в нижних отделах, больше справа. Хрипы единичные проводные. Тоны сердца приглушенные. АД = 130/90 мм рт. ст. Пульс 100 уд/мин. Язык влажный, обложен белым налетом. Живот правильной формы, симметричный, участвует в акте дыхания, не вздут, при пальпации болезненный во всех отделах. Симптомы раздражения брюшины отрицательные. Перистальтика кишечника выслушивается. Печень не увеличена. Диурез сохранен. Симптом поколачивания отрицательный. Стул в памперс, сгустки крови. Локальный статус. Снижение гемоглобина до 92 г/л. Сохраняется выраженный болевой синдром, трамадол – без значимого эффекта. Дз: Мезентериальный тромбоз? Расслаивающая аневризма аорты? Показана срочная лапароскопия, дальнейшая тактика – интраоперационно.

Операция 19:20 – 20:20

Доступ по Хассену над пупком по старому рубцу. При ревизии в брюшной полости выпота нет, петли тонкой кишки без особенностей, перистальтика сохранена, стенка розовая. Ободочная кишка – до середины поперечной ободочной кишки заполнена плотными каловыми массами, дистальнее – полужидким содержимым. В области левой подвздошной кости – грубый спаечный процесс, сигмовидная кишка, петли тонкой кишки с перифокальной инфильтрацией. По левому боковому каналу геморрагическое пропитывание. Дз: забрюшинная гематома, разрыв аневризмы? В операционную вызван ангиохирург.

Десуфляция. Инструменты удалены.

Верхнесрединная лапаротомия. По рубцу подпаян большой сальник – отделен коагуляцией. По левому боковому каналу вскрыта париетальная брюшина, при ревизии вскрыта гематома с мутной примесью, сгустками, с неприятным запахом, при осмотре – уходит к зоне инфильтрации в проекции левой подвздошной кости. Пальпаторно гематома распространяется до правого бокового канала, к промонториуму, до уровня ДПК, плотная. При дальнейшей ревизии – выполнено рассечение спаек в левой подвздошной области, при попытке разделения инфильтрата вскрылся просвет сигмовидной кишки – заполнен сгустками

крови с неприятным запахом (как и в забрюшинной гематоме), при этом имеется сужение сигмовидной кишки рубцового характера до 8–10 мм и фиксации этого участка к рубцу забрюшинного пространства (левая бранша АББШ?), отделить кишку от рубца не представляется возможным. При разведении инфильтрата левой подвздошной области два участка тонкой кишки десерозировались – ушиты нитью моноплус 3/0. Обсужден по телефону с зав. отделением сердечно-сосудистой хирургии (ОССХ), рекомендовано завершить операцию дренированием забрюшинного пространства, выведением колостомы. От дальнейшей ревизии инфильтрата и гематомы рекомендовано воздержаться – высокий риск развития профузного кровотечения на фоне инфицированной гематомы, тяжесть состояния пациента. Заглушены двухрядными швами проксимальный и дистальный отрезки сигмовидной кишки (участки в зоне инфильтрата). В левое подреберье выведена дистальная треть поперечной ободочной кишки в виде дуэльной колостомы на держалке. В забрюшинное пространство и к ушитым дефектам сигмовидной кишки – два перчаточко-марлевых дренажа – выведены через контрапертуру в левой боковой области живота. В малый таз – 8 мм ПВХ-дренаж, выведен через контрапертуру. Салфетки, инструменты – все. Брюшная полость ушита наглухо. Йод. Асептическая повязка.

В послеоперационном периоде нарастали явления сердечно-сосудистой недостаточности, в 22:20 – остановка кровообращения, реанимационные мероприятия без эффекта. Констатирована биологическая смерть пациента.

Выписка из патологоанатомического исследования:

Интима аорты жёлтая, с многочисленными желтоватыми бляшками в стадии атероматоза и кальциноза, режется с хрустом. В 2 см ниже отхождения почечных артерий, к стенке аорты подшит протез, в области швов стенка аорты дряблая, тёмно-серая, с прорезыванием швов (рис. 1–3).

Забрюшинная клетчатка багровая с двух сторон: 20x15 см слева, справа – 10x15 см, с дряблыми серо-багровыми участками с неприятным запахом. Левая и правая бранши протеза тёмно-серого цвета. Пояснично-подвздошная мышца с двух сторон тусклая, серо-коричневого цвета, дряблая.

Петли тонкого кишечника диаметром до 2 см, серо-розовые, частично спаянные друг с другом, легко отделяются, в 1 м от связки Трейтца швы на серозе кишки. Вокруг протеза гематома (рис. 1).

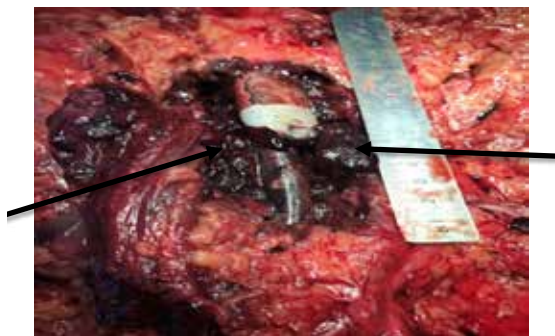


Рис. 1. Гематома в области протеза, сгустки, пропитывание тканей (стрелки)



Рис. 2. Аутопсийный материал – протез с участками чёрного цвета (стрелки)

На разрезе протез с признаками инфицирования, изменение цвета тканей (рис. 2).

Перипротезная гематома сообщается с просветом сигмовидной кишки посредством сформировавшегося свища (рис. 3).

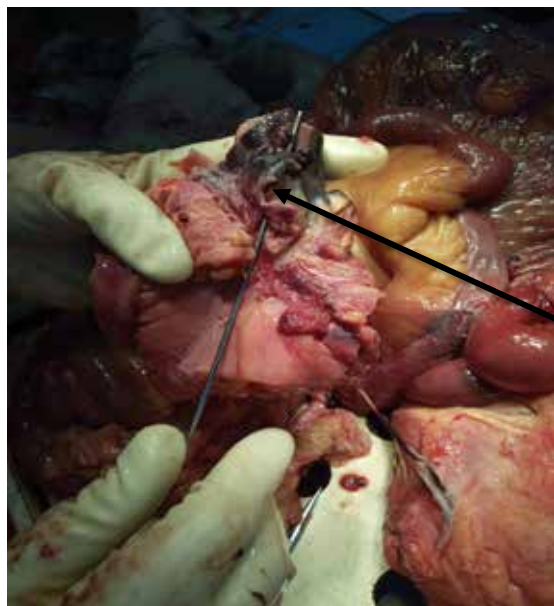


Рис. 3. Сообщение околопротезной гематомы с просветом сигмовидной кишки (через свищ проведён пуговчатый зонд)

Стенка аорты некротизирована, с кровоизлияниями и диффузной нейтрофильной инфильтрацией (рис. 4).

Сигмовидная кишка: стенка некротизирована, слои не дифференцируются, с диффузной смешанноклеточной воспалительной инфильтрацией, в одном из фрагментов плотно спаяна с инородным материалом (бранша протеза)

Патологоанатомический диагноз код по МКБ-Х I 70.0

Основное заболевание:

Атеросклероз брюшного отдела аорты (операция: АББАП от 30.03.2018). (I70.0)

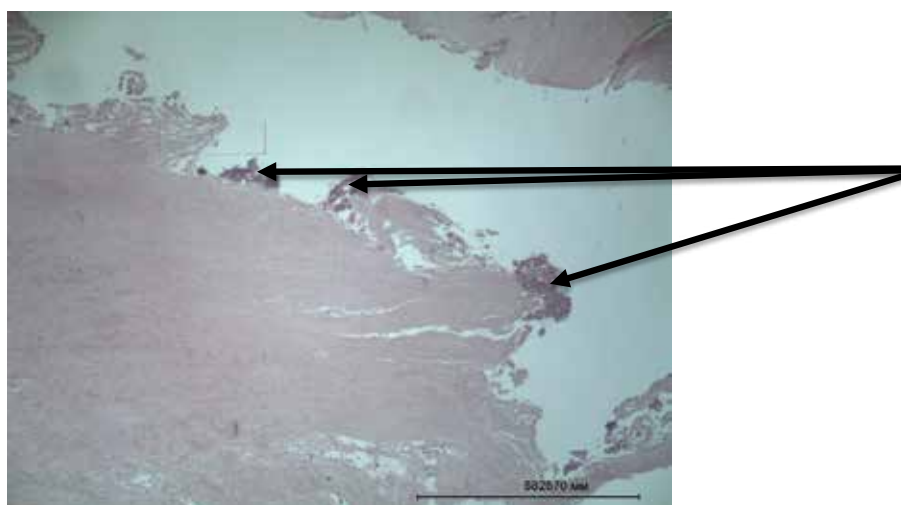


Рис. 4. Микроскопическое исследование препарата стенки брюшной аорты, окраска гематоксилин-эозин. Колонии микроорганизмов в аорте (стрелки)

Осложнения основного заболевания: некроз стенки аорты, аорто-сигмовидный свищ, массивная забрюшинная гематома с нагноением, гнойный двусторонний псоит, некроз сигмовидной кишки (операция: срочная диагностическая лапароскопия, лапаротомия, вскрытие, дренирование забрюшинной гематомы, разделение инфильтрата левой подвздошной области, ушивание дефекта сигмовидной кишки, трансверзостомия 17.02.2019 г.), толстокишечное кровотечение (свёртки крови в просвете сигмовидной, прямой кишок объёмом около 250 г), анемия тяжёлой степени (общий анализ крови от 17.02.2019 г.: эритроциты $1,61 \times 10^{12}$, гемоглобин 47 г/л), паренхиматозная дистрофия внутренних органов, отёк лёгких, отёк головного мозга.

Сопутствующие заболевания:

Атеросклеротический кардиосклероз; резко выраженный атеросклероз коронарных артерий. Атеросклеротическая энцефалопатия III стадии; выраженный атеросклероз церебральных артерий. Гипертоническая болезнь III стадия, риск 4: гипертрофия миокарда (масса сердца 367 г; толщина стенки левого желудочка 1,4 см); артериолосклеротический нефросклероз.

Обсуждение:

Данный клинический пример показывает, что вследствие формирования свища между толстой кишкой и аортой возникает массивное кровотечение, сложное в диагностическом плане, приводящее к летальному исходу.

В данном клиническом случае по результатам патологоанатомического исследования можно предположить, что сигмовидная кишка припаялась к бранше протеза, образуя единый конгломерат, вследствие латентной инфекции со временем произошла пенетрация (некроз) стенки кишки и стенки сосуда, бактериальное обсеменение кишечным содержимым и формирование аорто-кишечного свища.

При гистологическом исследовании это подтверждается:

– Аорта: некроз стенки, кровоизлияния, диффузная нейтрофильная инфильтрация.

– Сигмовидная кишка: стенка некротизирована, слои не дифференцируются, с диффузной смешанноклеточной воспалительной инфильтрацией, в одном из фрагментов плотно спаяна с инородным материалом (бранша протеза).

Такие методы диагностики, как УЗИ органов брюшной полости, ФКС, оказались малоинформативными в данном клиническом случае. С целью уточнения диагноза целесообразно применение компьютерной томографии с аортографией. Необходима клиническая настороженность хирургов срочной хирургии при оказании помощи данной группе пациентов.

Список литературы

1. Bergquist D., Bjorck M. Secondary aortoenteric fistulation – a systematic literature analysis. *Eur. J. Endovasc. Surg.* 2009. Vol. 37. P. 31–42.
2. Spanos K., Karatanos C., Matsagkas M., Giannoukas A.Di. Current status of endovascular treatment of aortoenteric fistula. *Semin. Vasc. Surg.* 2017. Vol. 30. No. 2–3. P. 80–84.
3. Абдулгасанов А.Р., Аракелян В.С., Рахимов А.А., Себастиан С., Иванов А.В., Газимагомедов З.И., Умарова М.Н., Давиташвили С. Инфицирование протезов грудной и брюшной аорты // *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2014. Т. 20. № 2. С. 9–10.
4. Mavilia M.G., Wu G.Y. Aortoenteric fistula. *J. Am. Osteopath. Ass.* 2019. Vol. 119. No. 2. P. 135.
5. Makimoto S., Takami T., Shintani H., Kataoka N., Yamaguchi T., Tomita M., Shono Y., Kuroyanaga S. Cases of two patients with aortoduodenal fistula who underwent emergency. *Int. J. Surg. Case. Rep.* 2020. Vol. 69. P. 87–91.
6. Бедров А.Я., Моисеев А.А., Устюжанинов А.С. Интраоперационная оценка кровоснабжения левой половины ободочной кишки после резекции аневризмы инфраренального сегмента аорты // *Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова.* 2013. № 4. С. 66–70.
7. Путинцев А.М., Струкова О.А., Хачатурьян Р.Г. Предупреждение ишемии толстой кишки при операциях на аорто-бедренном сегменте // *Актуальные вопросы современной хирургии: материалы межрегиональной научно-практической конференции хирургов, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.И. Краковского.* Кемерово, 2019. С. 53–57.
8. Тер-Акопян А.В., Тагаев Н.Б., Абрамов А.С., Калинин А.А. Эндоваскулярная реваскуляризация при ишемии органов пищеварения // *Эндоваскулярная хирургия.* 2017. Т. 4. № 1. С. 45–52.

УДК 616.314.163-08

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАСТВОРА СЕРЕБРА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКОГО ПЕРИОДОНТИТА МЕТОДОМ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ

¹Шайымбетова А.Р., ²Юлдашев И.М., ³Сулайманкулова С.К.

¹Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б. Ельцина, Бишкек,
e-mail: altynai_shaiymbetova@mail.ru;

²Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек;

³Национальная академия наук Кыргызской Республики, Институт химии и фитотехнологии, Бишкек

В статье изложены результаты клинического анализа лечения нанораствором серебра хронических форм периодонтита с деструктивными изменениями апикальной части корней зубов. При использовании нанораствора серебра происходит регенерация верхушки корней зубов. Нанораствор серебра использовался в сочетании с гидроксидом кальция для временного пломбирования пораженных корневых каналов. Динамика лечения пациентов проводилась рентгенологическим исследованием корней зубов каждые 6 и 12 месяцев. Клинические исследования проведены на 20 пациентах с диагнозом «Хронический гранулирующий и гранулематозный периодонтит». Периапикальные изменения выявлялись на основании клинического осмотра полости рта, рентгенологических и дополнительных методов исследования. К лечению каждого пациента подходили строго индивидуально с учетом рентгенологических данных (количество каналов, локализация процесса). Разработана методика лечения хронических форм периодонтита, позволяющая создать антисептический эффект в периапикальном очаге воспаления. При временном пломбировании корневых каналов гидроксидом кальция с нанораствором серебра в основной группе исследования пациенты не предъявляли жалоб при жевательной нагрузке на причинный зуб. В результате пролонгированного действия нанораствора серебра при ирригации корневых каналов нами были получены сокращенные сроки посещения, снизилось количество осложнений и уменьшилось число показаний к хирургическим методам лечения периодонтита.

Ключевые слова: хронический периодонтит, нанораствор серебра, регенерация, гидроксид кальция, временное пломбирование, корневые каналы

THE USE OF SILVER NANOSOLUTION IN THE TREATMENT OF CHRONIC PERIODONTITIS BY THE METHOD OF PROLONGED ROOT CANAL TREATMENT

Shaiymbetova A.R., Yuldashev I.M., Sulaymankulova S.K.

¹Kyrgyz-Russian Slavic University named after B. Yeltsin, Bishkek, e-mail: altynai_shaiymbetova@mail.ru;

²Kyrgyz State Medical Academy named after: I.K. Akhunbaev, Bishkek;

³National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic Institute of Chemistry and Phytotechnology, Bishkek

The article presents the results of a clinical analysis of the treatment of chronic forms of periodontitis with destructive changes in the apical part of the roots of the teeth with a silver nanosolution. When using a nano-solution of silver, the apex of the roots of the teeth is regenerated. Silver nanosolution was used in combination with calcium hydroxide for temporary filling of affected root canals. The dynamics of the treatment of patients was carried out by X-ray examination of the roots of the teeth every 6.12 months. Clinical studies were carried out on 20 patients with a diagnosis of "Chronic granulating and granulomatous periodontitis". Periapical changes were detected on the basis of a clinical examination of the oral cavity, radiological and additional research methods. The treatment of each patient was approached strictly individually, taking into account radiological data (number of channels, localization of the process). A technique has been developed for the treatment of chronic forms of periodontitis, which makes it possible to create an antiseptic effect in the periapical focus of inflammation. During temporary filling of root canals with calcium hydroxide with silver nanosolution in the main study group, patients did not complain when chewing load on the causative tooth. As a result of the prolonged action of the silver nanosolution during root canal irrigation, we received reduced visit times, reduced the number of complications, and reduced the number of indications for surgical methods of treating periodontitis.

Keywords: chronic periodontitis, silver nanosolution, regeneration, calcium hydroxide, temporary filling, root canals

Нанотехнологии являются перспективной отраслью в медицине и также в системе преподавания. Возникающая наука о нанотехнологиях, особенно в стоматологической и медицинской практике, вызвала интерес большинства исследователей к их потенциальному использованию и преимуществам по сравнению с применяемыми традиционными материалами. В настоящее время известно множество различных исследо-

ваний в рамках изучения нанотехнологий в области стоматологии [1]. Биологическая активность металлических наночастиц связана с размерным эффектом: чем мельче наночастицы, тем больше удельная поверхность наносистемы, на которой протекают химические и биологические процессы. Нами предлагается использование нанораствора серебра при лечении хронических форм периодонтита. Ученые подразумева-

ют под биологической активностью наночастиц в первую очередь их противовирусное и антибактериальное действие [2].

В лаборатории нанотехнологии института химии и фитотехнологии НАН КР с 1980 г. синтезируются металлические наночастицы в импульсной плазме, создаваемой в жидкостях (ИПЖ). Размеры серебряных наночастиц, синтезированных в лаборатории нанотехнологии диспергированием массивного серебра в дистиллированной воде, не превышают 2,5–5 нм. Коллоидные частицы серебра имеют размеры более 25 нм, а синтезируемые в лаборатории нанотехнологии – менее 5 нм. Использование наночастиц серебра из ИПЖ позволяет уменьшить в 30 раз концентрацию серебра в препаратах с таким же положительным эффектом, как и при использовании коллоидного серебра [3]. Причину хронических форм периодонтита связывают с кариозным процессом и попаданием из системы корневого канала в периодонтальную область патогенных бактерий, способных вызвать деструктивные изменения в апикальной части корня зуба [4]. При воспалительном процессе резорбция цемента корня зуба происходит в результате включения механизма защиты организма. В настоящее время мало изучена структура цемента корня зуба с деструктивными изменениями в период обострения хронического верхушечного периодонтита [5].

Постоянное пломбирование корневых каналов одними пастами считается неэффективной методикой obturации системы корневых каналов в эндодонтии. При этом наиболее эффективными методами obturации в современной эндодонтии являются различные методики, используемые в качестве пломбировочного материала гуттаперча и силлеры из группы эпоксидных смол [6]. Методы дополнительной инструментальной обработки являются эффективными инструментами для уменьшения количества пломбировочного материала во время повторного лечения корневых каналов [7]. Нужно предотвратить, чтобы периапикальные или пародонтальные жидкости проникали в корневые каналы и питали микроорганизмы. Засыпать все остаточные микроорганизмы, которые пережили дезинфекцию и дезинфекционные этапы обработки, для предотвращения их размножения и патогенности [8].

Цель исследования – изучить остеорегенерирующее действие нанораствора серебра при лечении хронического периодонтита.

Материалы и методы исследования

Клинические исследования основаны на анализе результатов эндодонтического лечения 20 пациентов с диагнозом «Хрони-

ческий гранулирующий и гранулематозный периодонтит» в возрасте от 26 до 51 лет.

Все пациенты были разделены на две группы исследования: 1 группа (контрольная) – 10 пациентов (50%), к которым применялась традиционная методика лечения хронических форм периодонтита с применением медикаментозной обработки корневых каналов 3% раствором гипохлорита натрия, в отношении больных 2 группы (основная) – 10 пациентов (50%), к которым применялась медикаментозная обработка тем же раствором, далее применяли нанораствор серебра при ирригации системы корневых каналов. В основной группе при временном пломбировании корневых каналов использовали гидроксид кальция с нанораствором серебра, в контрольной группе исследования – гидроксид кальция с дистиллированной водой в соотношении 1:1. Клиническое обследование каждого пациента включало визуальную диагностику, зондирование, термометрию, горизонтальную и вертикальную перкуссию, рентгенологическое исследование. Всем обследуемым пациентам с хроническим периодонтитом проводили манипуляции, включавшие аппликационную анестезию, инфильтрационную анестезию, изоляцию рабочего поля с помощью коффердама (раббердама), препарирование кариозной полости, раскрытие полости, удаление старого реставрационного материала при перелечивании и эндодонтическое лечение. Эндодонтическое лечение включало в себя весь комплекс вмешательств:

- 1) распломбирование корневых каналов;
- 2) механическая обработка корневых каналов методиками «step-back» и «crown-down»;
- 3) медикаментозную обработку каналов, ЭДТА-содержащий препарат «RS-Prep» (США);
- 4) временное и постоянное пломбирование корневых каналов.

Измерение рабочей длины корневых каналов проводили с помощью апекслокатора DTE DPX III golden standard – цифровой апекслокатор повышенной точности, с цветным дисплеем. Временное пломбирование системы корневых каналов проводилось с помощью гидроксида кальция с дистиллированной водой на две недели с последующим пломбированием временной пломбы из стеклоиномерного цемента. После эндодонтического лечения жалобы со стороны пациентов отсутствовали в 65,0% случаев в контрольной группе исследования (без использования нанораствора серебра). В течение 1–2 дней жалобы на болезненность при жевательной нагрузке отмечались в контроле в 5 случаях (50%), во второй

(в основной группе) исследования регистрировались лишь в трех зубах (30%).

Результаты исследования и их обсуждение

На 3–5-й день в контрольной группе исследования болезненность при жевательной нагрузке сохранялась у 5 пациентов, в то время как в основной группе отсутствовала.

В основной группе исследования жалобы на болезненность при приеме твердой пищи через 14 дней после проведенного эндодонтического лечения отсутствовали в 80% случаев. Болезненность при накусывании через 14 дней после эндодонтического лечения корневых каналов отмечали в контрольной группе у 5 пациентов.

Таким образом, при использовании нанораствора серебра во временном пломбировании корневых каналов болезненность при вертикальной перкуссии и жевательной нагрузке снижается.

Клинический случай № 1

Пациент У.Э. обратился в клинику с жалобами на боли при накусывании в области нижней челюсти слева. Со слов пациента зуб ранее лечен два года назад, периодически появляются боли ноющего характера. Объективно: конфигурация лица не нарушена, асимметрия не наблюдается, состояние кожных покровов без изменений, лимфатические узлы не увеличены. При осмотре полости рта наблюдается наличие композитной пломбы на 3.6 зубе, также кариозный процесс под реставрационным материалом с небольшим количеством гнойного содержимого, которое со слов пациента появляется в холодное время года. Вертикальная перкуссия положительна, термометрия отрицательна. Наличие художественной реставрации на окклюзионной поверхности зуба.

Рентгенологическое исследование показало деструктивные изменения в апикальной части корня 3.6 зуба из-за недостаточного пломбирования корневых каналов.

Диагноз: Хронический гранулематозный периодонтит 3.6 зуба.

Лечение: аппликационная анестезия в область предварительной инъекции, инфильтрационная анестезия с использованием Убистезин форте 1:100000. Изоляция рабочего поля с помощью коффердама (раббердама), удаление реставрационного композита на жевательной поверхности, препарирование кариозной полости под реставрационным материалом, создание доступа к устьям корневых каналов, расширение методом «step-back», промывание 3% гипохлоритом натрия после каждой механической обработки корневых каналов эндодонтическими инструментами. Ирригация физиологическим

раствором после многократного использования гипохлорита натрия и затем промывание нанораствором серебра.

Рентгенологический снимок сделан в первое посещение: наблюдается недостаточная obturation медиальных корневых каналов, дистальный канал запломбирован наполовину, очаг деструкции в обоих каналах (рис. 1, а).

Установлен кламп на 3.7 зуб по причине отсутствия дистальной стенки 3.6 зуба, рентгенологический снимок после пломбирования корневых каналов методом латеральной конденсации силером АН PLUS и гуттаперчей (рис. 1, б).

Контрольный рентгенологический снимок сделан через 6 месяцев после пломбирования корневых каналов (рис. 1, в).

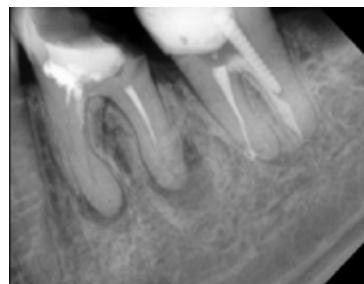


Рис. 1, а. До лечения

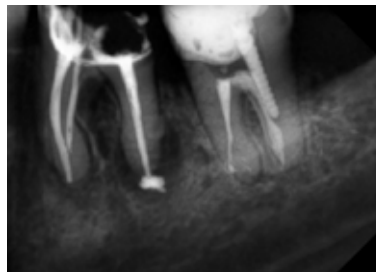


Рис. 1, б. После лечения

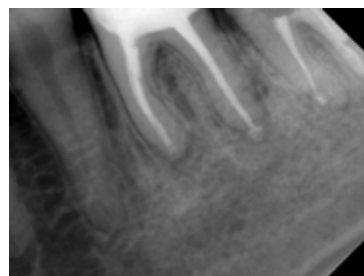


Рис. 1, в. Через 6 месяцев после лечения

Клинический случай № 2 (контрольная группа)

Пациент У.М. обратился в клинику с жалобами на появление свищевого хода в области 1.4 и 1.5 зуба с небольшим количеством гнойного содержимого в холодное время года.

Объективно: Наблюдается отсутствие коронковой части 1.4 зуба с большим количеством некротических тканей и размягченного дентина, конфигурация лица не нарушена, асимметрия не наблюдается, состояние кожных покровов без изменений, лимфатические узлы не увеличены. При осмотре 1.5 зуба наблюдается наличие композитной пломбы на окклюзионной поверхности, также кариозный процесс под реставрационным материалом. Перкуссия положительна, термометрия отрицательна.

Рентгенологическое исследование: деструктивные изменения в апикальной части корня 1.4; 1.5 зуба. Недостаточная obturation корневых каналов.

Диагноз: Хронический гранулирующий периодонтит 1.4;1.5 зуба.

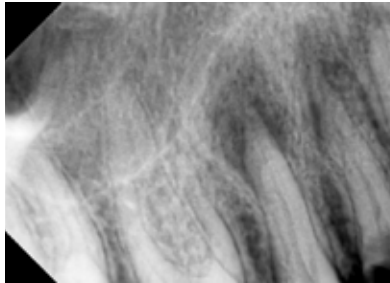


Рис. 2, а. До лечения

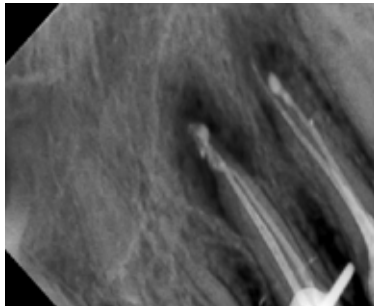


Рис. 2, б. Через 6 месяцев после лечения

Лечение: аппликационная анестезия в область предварительной инъекции, инфльтрационная анестезия с применением Убистезин форте 1:100000. Изоляция с помощью раббердама, удаление композитного материала, препарирование кариозной полости под пломбировочным материалом, создание доступа к устьям, расширение методом «step-back», промывание 3% гипохлоритом натрия после каждой обработки корневых каналов эндодонтическими инструментами. Пломбирование корневых каналов гидроксидом кальция с дистиллированной водой в соотношении 1:1 на две недели с последующим наложением временной пломбы. Спустя две недели про-

ведено удаление временной пломбы, промывание гипохлоритом натрия, высушивание корневых каналов. Далее постоянная obturation корневых каналов методом латеральной конденсации силером АН PLUS и гуттаперчей.

На рис. 2, а, на рентгенологическом снимке, сделанном в первое посещение, наблюдаются деструктивные изменения в апикальной части корней 1.4; 1.5 зубов. Корневые каналы не запломбированы, отсутствие коронковой части 1.4 зуба.

На рис. 2, б, проведена постоянная obturation корневых каналов методом латеральной конденсации силером АН PLUS и гуттаперчей.

Заключение

Устранение хронической инфекции в корневых каналах является первоочередной задачей в эндодонтической практике, в результате чего наблюдается уменьшение периапикальных изменений в очаге деструкции. Приведенные нами наблюдения показывают, что использование нанорастора серебра при временной и постоянной obturation корневых каналов, сокращает срок регенерации апикальной части корня зуба за 6 месяцев после лечения. Наименее эффективной оказалась традиционная методика лечения без применения нанорастора серебра без применения дополнительных физических факторов воздействия на периапикальный очаг разрежения.

Список литературы

1. Гречихин С.С. Значение и применение нанотехнологий в стоматологии // Балтийский гуманитарный журнал. 2021. Т. 10. № 1 (34). 86–88.
2. Станишевская И.Е., Стойнова А.М., Марахова А.И., Станишевский Я.М. Наночастицы серебра: получение и применение в медицинских целях // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. № 1 (14). С. 66–69.
3. Сырымбекова Э.И., Сатиев М.И., Кудайбергенова Д.М., Сулайманкулова С.К. Бактерицидная активность металлических наночастиц // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2020. № 4. С. 121–126.
4. Кошель И.В., Адамчик А.А., Кобылкина Т.Л. Обоснование выбора препарата для временного пломбирования каналов при лечении деструктивных форм хронического периодонтита // Российский стоматологический журнал. 2016. № 20 (6). Р. 320–323.
5. Маконин А.В., Копецкий И.С., Никольская И.А., Побожьева Л.В., Шевелок Ю.В., Хритова А.А., Шалаев И.А. Анализ краевой адаптации временных пломбировочных материалов к тканям зуба. Эндодонтия Today. 2022. No. 20 (2). Р. 121–125.
6. Исмаилов Ф.Р., Хабазде З.С., Генералова Ю.А., Бакаев Ю.А., Литвиненко А.А. Оптимизация obturation корневых каналов. Эндодонтия Today. 2022. No. 20 (2). Р. 131–135.
7. Tavares S.J.O., Gomes. C. C. et al. Supplementing filling material removal with XP-Endo Finisher R or R1-Clearsonic ultrasonic insert during retreatment of oval canals from contralateral teeth. Aust. Endod. J. 2021. No. 47 (2). P. 188–194.
8. Tomson R.M., Polycarpou N., Tomson L.P. Contemporary obturation of the root canal system. British Dental Journal. 2014 (6). P. 315–322.

УДК 622.817.4

МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОН С ПОВЫШЕННОЙ ГАЗОТДАЧЕЙ

Муллагалиева Л.Ф., Баймухаметов С.К., Портнов В.С., Юров В.М., Мадисева Р.К.

Карагандинский технический университет, Караганда, e-mail: m_liliya88@mail.ru

Получено уравнение, которое заключается в том, что скорость распространения акустических волн связана с газоносностью пласта угольного вещества. На этом основан метод акустики в скважинах для определения выделения газа, и с его помощью можно обнаруживать зону с повышенной отдачей газа. Источник акустики, который возникает в шахтных условиях, связан с технологическими процессами выемки угольного вещества. В статье выявлена связь между природным выделением газа из пласта угольного вещества и величиной добычи шахтерами угля в сутки. Она также устанавливает соотношение между природным выделением газа и концентрацией метана. Анализ приведенных выше рассуждений показал, что диапазон коэффициента относительных напряжений K_n составляет 0,8–3 и сравнивается с нашим параметром K , который составляет 0,5–5. Отсюда следует, что если величина параметра $K = V_s/V_p < 3$, то пласт угольного вещества в бассейне города Караганды опасен случайными и внезапными выбросами газа и угля. Иными словами, такой пласт угольного вещества входит в зону с повышенной отдачей газа.

Ключевые слова: акустика, волна, пласт угольного вещества, разрушение угля, выделение газа, отдача газа, выброс газа и угля, зона с повышенной отдачей газа

METHOD OF USING THE ACOUSTIC METHOD FOR DETECTING ZONES WITH INCREASED GAS RECOVERY

Mullagalieva L.F., Baymukhametov S.K., Portnov V.S., Yurov V.M., Madisheva R.K.

Karaganda Technical University, Karaganda, e-mail: m_liliya88@mail.ru

An equation has been obtained, which states that the propagation velocity of acoustic waves is related to the gas content of a coal bed. Based on this, the method of acoustics in wells for determining gas release is based, and with its help we conclude that it is possible to detect a zone with increased gas recovery. The source of acoustics that arises in mine conditions is associated with the technological processes of excavation of coal matter. The article reveals a relationship that establishes between the natural release of gas from a layer of coal matter with the amount of coal miners produce per day. It also establishes the relationship between natural gas emission and methane concentration. An analysis of the above reasoning showed that the range of the relative stress coefficient K_n is 0.8–3 and is compared with our parameter K , which is 0.5–5. From this follows the conclusion that if the value of the parameter $K = V_s/V_p < 3$, then the coal bed in the basin of the city of Karaganda is dangerous to accidental and sudden outbursts of gas and coal. In other words, such a layer of coal matter enters the zone with increased gas recovery.

Keywords: acoustics, wave, coal bed, coal destruction, gas release, gas release, gas and coal release, zone with increased gas release

Повышенная отдача газа в зоне технологических работ в угольных шахтах часто сопровождается случайными или внезапными выбросами газа и угля [1–5]. В работе [6] был подробно исследован процесс газовыделения в угольном пласте, и автор отметил следующее:

– процесс выброса угля и газа сопровождается тем, что основной объем газа образуется прямо из разрушающего угольного вещества;

– метан образуется при разрушении пласта угля в условиях его выемки угольным комбайном и при наличии в пласте угля довольно значительных напряжений.

Внутреннее напряжение угля возрастает с глубиной залегания пласта угольного вещества и составляет примерно 0,7–0,8 от предельного значения прочности угля. Если брать средний уголь марки Д, то минимум внутреннего напряжения (в Па) на средней глубине пласта будет в диапазоне 5–7 МПа. Внутреннее напряжение угля возрастает также в том случае, когда

разрушение угольного пласта происходит не хрупко, а пластично.

Кратко процесс случайного или внезапного выброса газа и угля можно представить следующим образом:

– происходят процессы, которые приводят к разрыву связей в боковых группах различных радикалов, и величина выделившегося метана составляет около $40 \pm 50 \text{ м}^3/\text{т}$;

– при разрушении угольного пласта создается такое количество метана, которое превышает газоносность пласта при внезапных выбросах порядка в 7 ± 10 раз;

– что касается скорости выхода метана из угольного пласта, то ее определяет фильтрационная система, включающая в себя систему трещин и горное давление;

– в процессе механического действия на угольный пласт происходит химическое превращение путем разрыва цепи молекул угля. Этот процесс приводит к выделению наряду с метаном и других газообразных продуктов. Все это сопровождается деструкцией угля, который превращается в мелкую

фракцию «уголь-газ» с размерами 0,08 мм и которая может составлять $14 \pm 37\%$ всей массы выброса. В этом случае уменьшается диффузия и фильтрация, а само газовыделение приобретает вид очень быстрого процесса.

В целом процесс внезапного выброса угля и газа должен учитывать следующие три фактора: напряженно-деформированное состояние угольного пласта, систему «уголь – газ – вода» и ее физико-механические свойства, систему «уголь – газ – вода» и ее структурно-химические свойства.

В статье будет получено уравнение, которое заключается в том, что скорость распространения акустических волн связана с газоносностью пласта угольного вещества. На этом основан метод акустики в скважинах для определения выделения газа и с его помощью можно обнаруживать зону с повышенной отдачей газа.

Материалы и методы исследования

Схема участка пласта угля при его выемке комбайновым методом по данным работы [7] показана на рис. 1. В этой работе установлено, что источник акустики в исследуемой спектральной области связан не с распространением волн от работы комбайнов или других механизмов. Акустика в данном диапазоне длин волн связана с характерным возникновением трещин при разрушении пласта угольного вещества. При этом, как правило, трещины дают отклик на силовое воздействие в момент их возникновения как резонансное. Возникающие при этом резонансы представ-

ляют собой акустические (трещиноватые) колебания. Они распространяются от первой трещины до плоскости, в которой присутствует максимальное опорное давление. Достигнув этой плоскости, акустические колебания отражаются и попадают на источник акустики (рис. 1).

На рис. 2 показано, как распространяются колебания акустики в пласте угольного вещества. Выделены пунктиром три зоны, которые отличаются друг от друга распределением внутренних напряжений в пласте угольного вещества в процессе отработки горной выработки. Первая зона начинается с момента образования трещин, и возникающая акустическая волна распространяется до зоны, где находится плоскость максимума опорного давления. Часть акустической волны отражается, а часть уходит далее.

Колебание акустики распространяется от источника колебаний, которым служит зона первого разрушения угля вблизи забойной области угольного пласта. При этом угольный пласт рассматривается как акустический волновод, который сверху ограничен кровлей, а снизу ограничен почвой выработки. Этот волновод состоит из пород, которые значительно отличаются по своим свойствам от угольного пласта. Поскольку поверхность этих границ совершенно неидеальна, то и поверхность подобно волновода отражает степень неидеальности отражения. Степень отражения акустических волн зависит от коэффициентов крепости угольного пласта и может составлять в пределе около 10 раз.

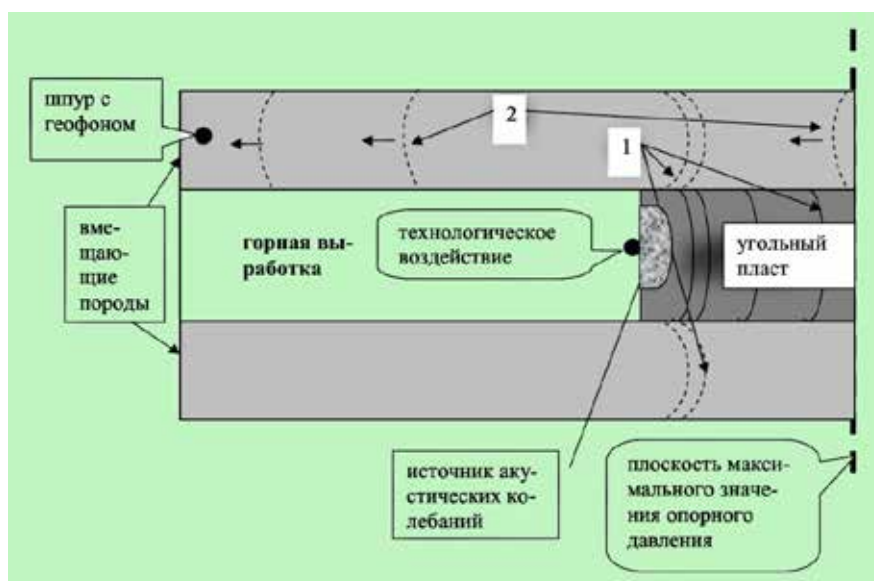


Рис. 1. Схема участка пласта угля и источник акустики [7]

1 – волны акустики от источника колебаний; 2 – отраженные волны акустики

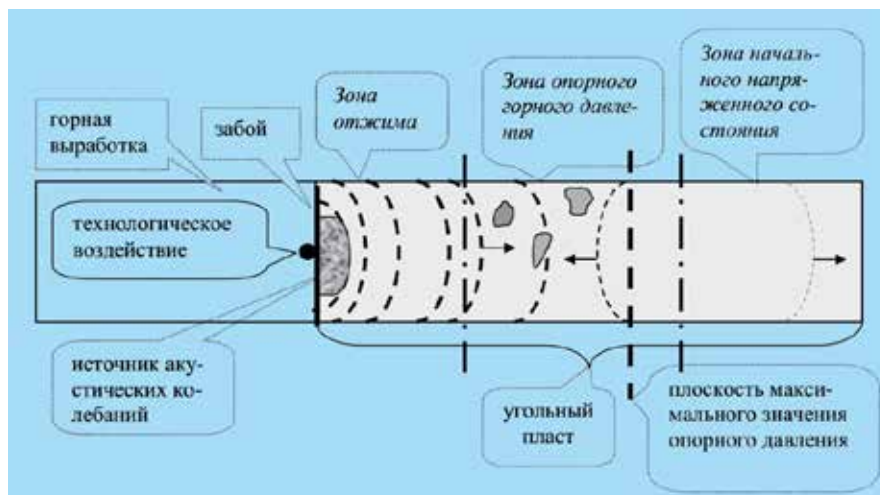


Рис. 2. Распространение акустических волн в пласте угольного вещества [7]

В зоне вблизи забойной области колебания акустики проходят сквозь угольный пласт, который, в общем случае, представляет собой среду с переменными параметрами. При этом изменения напряженного состояния в подобной среде сводятся к параметрам эпюры напряжений и связаны с протяженностью зоны высокого горного давления. Эта зона может простираться на расстояние до 120 м. В работе [7] показано, что прозвучивание угольного пласта в режиме разрывных нарушений можно осуществлять в качестве индикатора напряженно-деформированного состояния этого же пласта. На рис. 3 показана схема методов акустики по ГОСТ 18353-79, согласно которой методы акустики могут быть разделены на две группы: из которых первая использует активные, а вторая – пассивные методы (рис. 4).

Активная акустика применяет методы бегущих волн, которые, во-первых,

работают с проходящими и отраженными волнами, а во-вторых, работают как с проходящими, так и с отраженными волнами. Методы пассивной акустики включают бегущие волны и носят название – акустико-эмиссионный метод. Этот метод обычно используют, когда происходит внутренняя динамическая перестройка его структуры. Из рис. 2 видно, что колебания акустики можно представить как фильтр, который спектр колебаний разделяет на два вида, а именно на высокочастотную и низкочастотную составляющие.

Если буровзрывные работы проводятся в зонах повышенной газоотдачи, то это может вызвать распространение волн акустики, вызванных взрывом или ударом. Распространяясь в массиве, волна акустики отражается и преломляется, а затем часть ее возвращается на поверхность, где она регистрируется виброприемником.



Рис. 3. Классификация акустических методов контроля по ГОСТ 18353-79

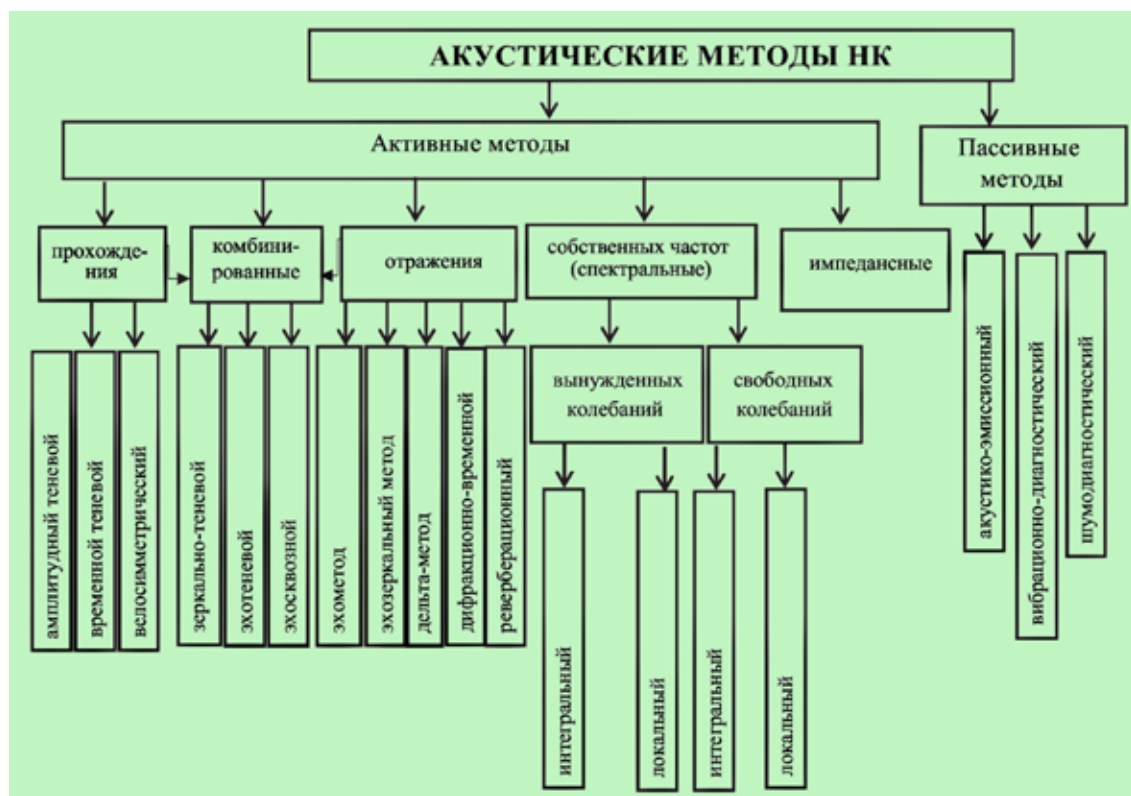


Рис. 4. Классификация акустических методов контроля по ГОСТ 23829-79

Таблица 1

Акустические свойства угля и пород [8]

Тип пород	Толщина пласта Н, м	Плотность Р, Г/см ³	Скорость поперечной волны V _s , м/с	Скорость продольной волны V _p , м/с
Песчаник	8–24	2,67	2633	4757
Аневролит	0–0,2	2,68	2328	4163
Уголь	1,2–1,4	1,55	1280	2373

Как формируется амплитудно-частотный спектр колебаний массива угля и пород, в качестве примера, мы рассматриваем при проходческих работах буровзрывным способом на угольном пласте ОАО «Гуковуголь» Восточного Донбасса из работы [8]. В табл. 1 показаны типы пород и основные акустические свойства угля и вмещающих пород на данном участке.

Из табл. 1 следует, что волны акустики угольного пласта и породами резко отличаются. Амплитудно-частотный спектр составляющей высокой частоты можно рассчитать по уравнению: $V_k = 0,9$; $V_s = 1152$ м/с, где V_k – скорость волны Лява в пласте угольного вещества, V_s – скорость поперечной волны в пласте угольного вещества. При этом

длина волны Лява λ равна кратной величине мощности пласта Н, т.е. мощности волновода. Волноводом в нашем случае выступает толщина пласта угольного вещества, равная 1,4 м. В этом случае максимум амплитуды акустического спектра высокой частоты будет равен значению $f_{max} = V_k/\lambda = 823$ Гц. На рис. 5, а, показаны полученные в работе [8] экспериментальные частотные кривые, полученные при взрыве пласта угольного вещества.

Из рис. 5, а, следует, что частотный спектр обнаруживает два максимума с частотами $\Delta f_1 = 70-200$ Гц и $\Delta f_2 = 580-700$ Гц. Этот спектр отражает тот факт, что колебательный процесс в пласте угольного вещества распадается на две группы.

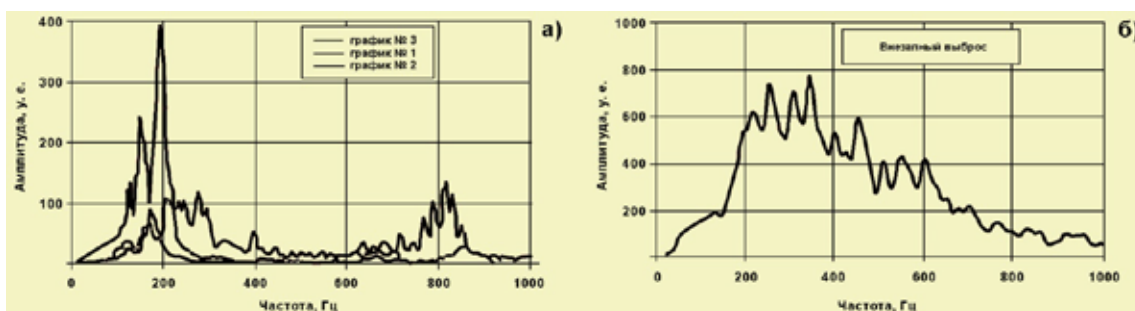


Рис. 5. Колебания, полученные при взрыве пласта угольного вещества [8]

Первая группа относится к колебательному процессу, который связан с породными отложениями в угле, поскольку плотность ее больше, чем у угля. Колебания этой группы отвечают скорости $V_1 = \lambda f_1 = 540$ м/с. Вторая группа относится к колебательному процессу, который связан непосредственно с разрушением пласта угольного вещества. Ему отвечает скорость $V_2 = \lambda_2 f_2 = 952$ м/с. Величина, равная отношению $K = A_2^{\max} / A_1^{\max} = 0,2$, может служить фактом низкой степени опасности горного удара и связанного с ним случайного или внезапного выброса газа и угля. Такой процесс показан на рис. 5, б. Этот рисунок иллюстрирует внезапный выброс газа и угля, отличный от состава спектра акустики (рис. 5, а). Спектральный состав в диапазоне от 60 Гц до 800 Гц представлен на рис. 5, б, а модуль амплитуды больше величины K в десять раз (рис. 5, а).

Результаты исследования и их обсуждение

Карагандинский угольный бассейн из-за неустойчивости горной выработки более доступен для акустических исследований [9] и более взрывоопасен. Мы воспользуемся методом аналогий, чтобы получить связь между газоотдачей угольного пласта и скоростью распространения акустических волн. Аналогия между акустикой и электричеством представлена в табл. 2 и известна уже давно [10].

Используя закон Ома и данные из табл. 2, нетрудно получить, что скорость распространения акустических волн связана с газоносностью угольного пласта уравнением

$$c_0 = \delta / V_s, \quad c_0 = \eta / V_p. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует

$$E = \delta / \eta = V_s / V_p, \quad (2)$$

где V_s – составляющая низкой частоты; V_p – составляющая высокой частоты из спектрального распределения акустических сигналов (табл. 1).

Таблица 2

Аналогия между акустикой и электричеством [10]

Система акустики	Система электрическая
Давление P	Напряжение U
Скорость частиц V	Ток I
Смещение u	Заряд e
Плотность среды ρ	Индуктивность L
Акустическая емкость $C_A = 1/\tau$	Емкость C
Акустическое сопротивление R_A	Сопротивление R

Если взять оценку связи между газоносностью и электрическим сопротивлением углей из формулы (2) и взять ρ_K угля по данным работы [11] при температурах $T_1 = 873$ К и $T_2 = 973$ К, то мы получим:

$$\delta V_p / \eta V_s = 4,3 \cdot 10^2.$$

Беря для угля $V_s = 1280$ м/с и $V_p = 2373$ м/с из табл. 1, имеем для величины $K = 0,5$, где $K = A_2^{\max} / A_1^{\max} = 1$. В нашем случае это отношение равно $8,2/90,7 = 0,2$ может интерпретироваться как низкая степень опасности развития внезапного выброса угля, породы и газа или горного удара. При внезапном выбросе угля и газа параметр K превышает предыдущую величину в 10 раз, т.е. $K = 5$. Рассмотренный подход к выделению выбросоопасных зон методами сейсмоакустики может быть использован в работе геомеханической службы Угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау». Проанализируем этот вопрос подробнее, используя работу [12], где контроль массива угольных пластов выполнялся по параметрам искусственного акустического сигнала. Оценка деформаций угольного пласта проведена по резонансным частотам спектров акустических сигналов. Существует зависимость между резонансной

частотой и мощностью резонирующего слоя – $f_p = V_p / h$, где V_p – фазовая скорость поперечных волн (высокочастотная составляющая спектра акустических сигналов); h – мощность резонирующей толщи пород. Скорость V_p определена эмпирически и составляет 2500 м/с. Амплитуда резонансных частот зависит в основном от степени ослабления контакта.

Коэффициент относительного напряжения K_n (рис. 6) имеет величину 0,8–3,0. В нашем случае эта величина принимает значение 0,5–5,0. Этот эффект с K_n обусловлен в основном с падением кон-

центрации метана, которая стремится к ее минимуму.

Как уже отмечалось, среднесуточная добыча угля в зонах отсутствия тектонических нарушений связана с концентрацией метана и напряженным состоянием угольного пласта, о чем свидетельствуют данные табл. 3 [12].

Таблица 4 показывает, что величина напряжений пласта угля, выраженная в относительных единицах $K = K_n$, связана определенным образом с концентрацией метана в зонах, которые представляют опасность для выброса газа и угля.

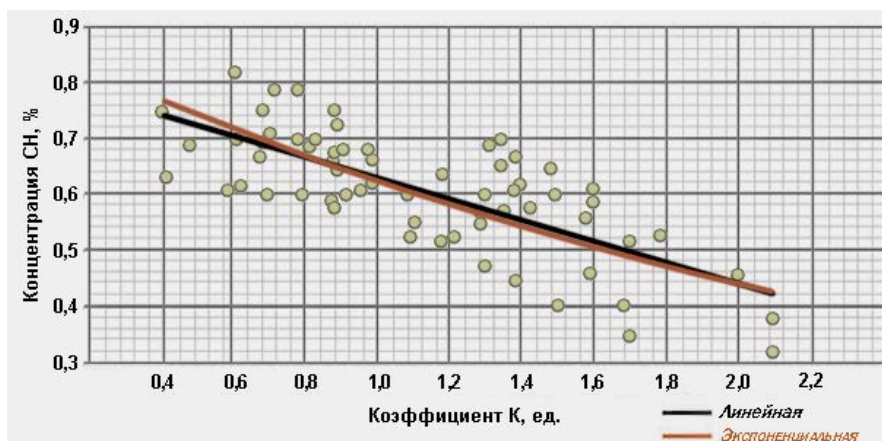


Рис. 6. Корреляционная связь между концентрацией метана и внутренним напряжением пласта угля [12]

Таблица 3

Зависимость концентрации метана CH_4 от K [12]

Целик	Выборка, м ³	Зависимость CH_4 от K , %	Величина CH_4 при $K = 1\%$	Величина газа пласта угля, м ³ /т с. б. м.	Добыча угля в сутки, т
24–58	33	0,845–0,090	0,75	25	11,5
24–59	64	0,820–0,189	0,63	25	8,9
25–96	90	0,690–0,0520	0,50	21	8,7
52–12	33	0,843–0,165	0,79	10	15,8
52–12*	24	2,737–0,987	1,75	10	15,8
Среднее		0,799–0,129	0,67		

Таблица 4

Отношение величин $K = K_n$ и концентрации метана [12]

Лава	Количество определений	Коэффициент K		Концентрация метана, %	
		макс.	отнош.	макс.	отнош.
24–58	7	2,4	1,87	0,82	2,06
24–59	19	2,6	2,1	0,7	1,6
25–96	18	2,4	2,06	0,7	1,55
52–12	2	1,9	2,8	0,9	2,07
52–12*	10	2,45	2,16	3,14	2,16

Анализ приведенных выше рассуждений показал, что диапазон коэффициента относительных напряжений K_n составляет 0,8–3 и сравнивается с нашим параметром K , который составляет 0,5–5.

Получаем, если параметр $K = V_s/V_p < 3$, угольный пласт входит в зону с повышенной газоотдачей и опасен внезапными выбросами угля и газа.

Заклучение

В теории нам удалось получить, что скорость распространения акустических волн связана с газоносностью угольного пласта простым уравнением. Если параметр $K = V_s/V_p < 3$, то угольный пласт в угольном бассейне г. Караганды составляет наибольшую опасность случайных или внезапных выбросов газа и угля.

Это, в свою очередь, приводит к катастрофам, связанным с гибелью шахтеров. Поэтому в подземных условиях нужно иметь датчики, которые бы давали сигнал о попадании технологических работ в такую зону. Настоящая статья и посвящена именно такому вопросу.

Список литературы

1. Колесниченко Е.А., Артемьев В.Б., Колесниченко И.Е. Внезапные выбросы метана: теоретические основы. М.: Горное дело, 2013. 232 с.
2. Фельдман Э.П., Василенко Т.А., Калугина Н.А. Физическая кинетика системы угольный пласт – метан: массоперенос, предвыбросные явления // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 3. С. 46–65.
3. Булгаков Ю.Ф., Овчаренко В.Л. Проблемы безопасной разработки выбросоопасных пластов. Донецк, 2015. 84 с.
4. Осипова И.А. Подход к созданию комплексной модели исследования прогноза внезапных выбросов угля и газа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 3–1. С. 170–177.
5. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И. Механизм внезапных выбросов метана в угольных пластах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 1. С. 108–120.
6. Малиникова О.Н. Условия формирования и методология прогнозирования газодинамических явлений при техногенном воздействии на угольные пласты: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 2011. 47 с.
7. Король В.И., Скобенко А.В. Акустический способ прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах. Днепропетровск: Национальный горный университет, 2013. 181 с.
8. Копылов К.Н., Смирнов О.В., Кулик А.И., Пальцев А.И. Автоматизированная система контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 32–37.
9. Узбеков А.Н., Михайлова Н.Н. Сейсмичность Центрального Казахстана и направления развития мониторинга этого региона // Вестник НЯЦ РК. 2018. Вып. 3. С. 73–82.
10. Иванов И.Е., Ерещенко В.Е. Методы подбора физических процессов. М.: МАДИ, 2015. 144 с.
11. Зубкова В.В., Еджевич П., Гебска У. Влияние температуры нагревания на изменение удельного электросопротивления твердых остатков термической деструкции спекающихся углей // Кокс и химия. 2000. № 9. С. 16–22.
12. Костеренко В.Н., Смирнов Р.О., Аксенов З.В. Динамика газовыделений в очистных забоях // Горная промышленность. 2019. № 2 (144). С. 52–55.

УДК 678:666.972

ПОЛИМЕРНОЕ ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Филиппова Л.С., Акимова А.С.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: fil.gasdertyu5@gmail.com

Представлены результаты экспериментальных исследований по получению полимерных композиционных покрытий на основе 100 мас. ч. метилметакрилата с добавлением пероксида метилэтилкетона в качестве инициатора реакции полимеризации и нафтената кобальта в качестве ускорителя реакции полимеризации. Для модификации полимерного связующего применялась кремнийорганическая жидкость ПФМС-4, представляющая собой смесь полиметилфенилсилоксанов, а наполнение связующего выполнялось молотым кварцем с размером частиц 50 мкм. Установлены интервалы введения компонентов, позволяющие получить максимальные степени полимеризации метилметакрилата, хорошую смачиваемость бетонной поверхности и поверхности частиц наполнителя и прочную адгезионную связь с ними, высокую прочность и низкое водопоглощение самого покрытия. В результате сравнения со сходным по составу и области применения полимерным композиционным материалом выявлены более высокие показатели по прочности при сжатии и отрыве, что обосновывает качество и конкурентоспособность получаемого защитного покрытия. Возможно применение представленной полимерной композиции для создания защитных покрытий на бетонных поверхностях промышленных и гражданских зданий и сооружений, использование при ремонтно-восстановительных работах, создании наливных полов и в качестве полимерного связующего для композиционных материалов и изделий различного назначения.

Ключевые слова: защитное покрытие, метилметакрилат, пероксид метилэтилкетона, нафтенат кобальта, молотый кварц, прочность на сжатие, прочность на отрыв, водопоглощение

POLYMER PROTECTIVE COATING FOR CONCRETE SURFACES

Filippova L.S., Akimova A.S.

Vladimir State University named after Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: fil.gasdertyu5@gmail.com

The results of experimental studies on the production of polymer composite coatings based on 100 wt.h. methyl methacrylate with the addition of methyl ethyl ketone peroxide as an initiator of the polymerization reaction and cobalt naphthenate as an accelerator of the polymerization reaction are presented. Organosilicon liquid PFMS-4, which is a mixture of polymethylphenylsiloxanes, was used to modify the polymer binder, and the binder was filled with ground quartz with a particle size of 50 microns. The intervals of introduction of the components have been established, allowing to obtain the maximum degree of polymerization of methyl methacrylate, good wettability of the concrete surface and the surface of the filler particles and a strong adhesive bond with them, high strength and low water absorption of the coating itself. As a result of comparison with a polymer composite material similar in composition and application, higher indicators of compressive strength and separation were revealed, which justifies the quality and competitiveness of the resulting protective coating. It is possible to use the presented polymer composition to create protective coatings on concrete surfaces of industrial and civil buildings and structures, use in repair and restoration work, the creation of self-leveling floors and as a polymer binder for composite materials and products for various purposes.

Keywords: protective coating, methyl methacrylate, methyl ethyl ketone peroxide, cobalt naphthenate, ground quartz, compressive strength, tear strength, water absorption

В условиях современного развития химии и химических технологий огромное распространение и применение получили полимерные материалы и композиции на их основе, которые отличаются сочетанием легкости, прочности, низкого водопоглощения и низкой теплопроводности, сравнительно высокой стойкостью к агрессивным средам. Это связано с большим количеством полимеров промышленного применения, а также большими возможностями по сополимеризации разных полимеров и их модификации аддитивами, которые позволяют улучшить как технологические свойства композиции, способствующие эффективно-му производству материалов и изделий, так

и существенно расширить или повысить эксплуатационные характеристики, позволяющие активно использовать материалы и изделия в различных отраслях [1–3]. Самыми многофункциональными аддитивами являются наполнители, которые не только модифицируют полимерные композиции, но и при достаточно высоком наполнении полимерной основы позволяют получить полимерные композиционные материалы, являющиеся одними из самых перспективных и эффективных материалов.

В зависимости от назначения получаемых материала и изделий в качестве полимерной матрицы подбирают один или несколько полимерных связующих,

определяют, какой наполнитель или наполнители надо использовать и какие добавки, среди которых стабилизаторы, пластификаторы, отвердители, антипирены и др., потребуется ввести дополнительно [4–6]. При этом на сегодняшний день наибольшими преимуществами обладают полимерные композиционные материалы на основе терморезистивных полимеров и олигомеров с дисперсными и волокнистыми минеральными и углеродными наполнителями [7–9].

Одной из актуальных областей применения полимерных композиционных материалов является их использование в качестве защитных покрытий, предохраняющих элементы бетонных конструкций зданий и сооружений от воздействия неблагоприятных природных и техногенных факторов, в первую очередь от насыщения влагой [10–12]. К таким факторам можно отнести разрушение строительных материалов за счет замерзающей капиллярной влаги под действием отрицательных температур, воздействие кислотных дождей, ультрафиолетового излучения, атмосферного озона и т.д.

При разработке составов полимерных композиционных защитных покрытий необходимо учитывать, что большинство полимеров, выпускаемых на сегодняшний день химической промышленностью, недостаточно устойчивы к действию большинства из вышеперечисленных факторов. В связи с этим, а также с учетом условий эксплуатации и применяемых нормативных требований на основе экспериментальных испытаний по определению основных характеристик подбирается количественный и качественный состав полимерной композиции.

Целью данной работы является исследование прочности и водопоглощения покрытий, получаемых на основе составов полимерных композиций с различным соотношением компонентов.

Материалы и методы исследования

В данной работе для разработки полимерного защитного покрытия для бетонных поверхностей в качестве основного связующего был использован метилметакрилат (ММА), представляющий собой метиловый эфир метакриловой кислоты, изготовленный по ГОСТ 20370-74. Выбор метилметакрилата связан с тем, что данный полимер позволяет получить защитную композицию, обладающую низкой вязкостью, хорошо смачивающую поверхности, в частности бетонные, а при отверждении обеспечивает полученному покрытию высокую прочность.

В качестве инициатора реакции полимеризации метилметакрилата применялся пероксид метилэтилкетона по ТУ 6-05-2019-86, а в качестве ускорителя данной реакции применялся нафтенат кобальта по ТУ 6-09-1024-76 в виде 10%-ного раствора в стироле. Выбранный инициатор является одним из наиболее активных для метилметакрилата [13], а выбранная система инициатор – ускоритель позволяет проводить реакцию полимеризации при температурах около 27 °С [14].

Для модификации полимерного связующего применялась кремнийорганическая жидкость ПФМС-4 по ГОСТ 15866-70, представляющая собой смесь полиметилфенилсилоксанов. В качестве минерального наполнителя, повышающего эксплуатационные свойства получаемого покрытия, применяли молотый пылевидный кварц марки Б по ГОСТ 9077-82, который содержит не менее 98 мас. % SiO_2 и состоит не менее чем на 82 мас. % из частиц размером не более 50 мкм.

Композицию для получения защитного покрытия готовили путем последовательного добавления заданного количества компонентов композиции к 100 мас. ч. метилметакрилата при перемешивании. Вначале к метилметакрилату добавляли ПФМС-4, а затем молотый кварц, пероксид метилэтилкетона и нафтенат кобальта. После дозирования всех компонентов смесь тщательно перемешивалась в течение 15 мин до получения однородной композиции. Образцы для проведения испытаний получали заливкой композиции в форму и нанесением тонкого слоя на бетонную подложку. Полученные образцы выдерживали при температуре не ниже 27 °С в течение 3 дней.

Определение физико-механических характеристик разработанного композиционного материала проводили по стандартным методикам: прочность на сжатие по ГОСТ 4651-2014, прочность при отрыве по ГОСТ Р 57048-2016, водопоглощение по ГОСТ 4650-2014.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе представлены результаты определения прочности на сжатие и отрыв от бетонной подложки, а также водопоглощения образцов покрытия, полученного с применением составов полимерных композиций на основе 100 мас. ч. метилметакрилата, представленных в табл. 1.

Выбор интервалов введения компонентов по отношению к количеству метилметакрилата был установлен опытным пу-

тем. При меньших количествах пероксида метилэтилкетона и нафтената кобальта наблюдается неполная полимеризация метилметакрилата, снижающая свойства покрытия. При больших количествах данных компонентов полимеризация происходит излишне быстро, что не оставляет времени для эффективного перемешивания и нанесения композиции на защищаемую поверхность с ее смачиванием поверхности бетона, проникновением в открытые поры наружного слоя и созданием адгезионных связей. При меньших количествах ПФМС-4 и молотого кварца получаемые покрытия обладали недостаточной прочностью. При больших количествах ПФМС-4 наблюдается снижение показателей покрытия, что, вероятно, связано с его избытком по отношению к возможному взаимодействию с метилметакрилатом. При большем количестве молотого кварца композиция имеет высокую вязкость, что ухудшает смачиваемость покрываемой поверхности композицией и ее проникновение в открытые поры наружного слоя.

В табл. 2 представлены результаты определения свойств у полученных образцов защитного покрытия.

Влияние компонентов на свойства получаемого покрытия, с одной стороны, связано с вязкостью получаемой композиции, умень-

шение которой улучшает смачиваемость покрываемой поверхности, в частности бетонной, и поверхности частиц наполнителя, а также с проникновением композиции в открытые поры наружного слоя. Это способствует образованию прочной адгезионной связи между покрытием и защищаемой поверхностью, а также повышению прочности самого покрытия. С другой стороны, характеристики покрытия существенным образом зависят от максимальной степени полимеризации связующего и минимального остаточного количества мономеров в системе. Таким образом, чем лучше покрываемая поверхность смачивается композицией, чем глубже композиция проникает в открытые поры наружного слоя и чем выше степень полимеризации связующего, тем у образующегося покрытия выше прочность и ниже водопоглощение.

Как следует из полученных данных, повышение содержания пероксида метилэтилкетона и нафтената кобальта способствует более полной полимеризации метилметакрилата, что повышает оба рассматриваемых свойства. Наличие ПФМС-4 и повышение ее количества способствует образованию дополнительных химических связей (сшивок) за счет большого количества реакционноспособных групп в составе кремнийорганической жидкости.

Таблица 1

Составы эпоксидных композиций

№ состава	Содержание компонентов, мас. ч.			
	Пероксид метилэтилкетона	Нафтенат кобальта	ПФМС-4	Молотый кварц
1	2,0	1,0	1,0	30,0
2	2,0	1,0	1,0	40,0
3	2,5	1,5	2,5	40,0
4	2,5	1,5	2,5	50,0
5	3,0	2,0	5,0	50,0
6	3,0	2,0	5,0	60,0
7	3,0	2,0	5,0	70,0

Таблица 2

Свойства образцов защитного покрытия

Свойство	Значение для состава						
	1	2	3	4	5	6	7
Прочность при сжатии, МПа	45,1	47,9	52,1	54,5	59,4	61,7	66,2
Прочность при отрыве (подложка – бетон), МПа	15,0	16,2	17,4	18,1	19,8	20,6	22,1
Водопоглощение за 24 ч, %	2,1	1,7	1,6	1,4	1,1	0,9	0,7

В то же время полиметилфенилсилоксаны в составе кремнийорганической жидкости вступают во взаимодействие с силанольными $\equiv\text{Si}-\text{OH}$ и силоксановыми $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ группами на поверхности частиц молотого кварца, обеспечивая прочность покрытия, и на бетонных поверхностях, обеспечивая прочность адгезионной связи. Кроме того, применение кремнийорганической составляющей позволяет гидрофобизировать поверхность покрытия, что дополнительно снижает его водопоглощение.

Молотый кварц в первую очередь выполняет роль армирующей добавки, повышающей прочность покрытия, а также снижает усадку полимерной композиции в процессе отверждения, придает покрытию химическую, температурную и атмосферную стойкость, которыми отличается кварц. Малый размер частиц наполнителя позволяет равномерно распределить его частицы в объеме наполнителя, повысить степень наполнения и усилить его влияние на свойства покрытия.

Для оценки свойств полученного в данной работе покрытия было проведено их сравнение с характеристиками известного покрытия с наиболее близким по применяемым компонентам в составе композиции [15], включающим 100 мас. ч. метилметакрилата, 10 мас. ч. полиизоцианата, 7 мас. ч. диметиланилина, 5 мас. ч. перекиси бензоила, 2 мас. ч. полиметилфенилсилоксана и 300 мас. ч. тонкоизмельченного кварцевого песка (табл. 3).

Таблица 3

Эксплуатационные показатели известного и разработанного полимерных композиционных покрытий

Показатель	Известное покрытие	Разработанное покрытие
Прочность при сжатии, МПа	38,0–47,0	45,1–66,2
Прочность при отрыве (подложка – бетон), МПа	12,5	15,0–22,1
Водопоглощение за 24 ч, %	–	0,7–2,1

Из данных таблицы видно, что полученное покрытие отличается более высокими показателями по прочности на сжатие и прочности на отрыв. Значит, разработанное покрытие может наравне с известным использоваться для защиты бетонных поверхностей от внешних воздействий. Полимерная композиция для получения известного покрытия также может использоваться

для наливных полов и в качестве ремонтной композиции [15], а следовательно, и разработанная композиция может быть рекомендована для тех же целей.

Заключение

По итогам данной работы была экспериментально подтверждена возможность применения модифицированной полимерной композиции на основе 100 мас. ч. метилметакрилата для получения защитных полимерных покрытий на бетонных поверхностях. В состав данной композиции возможно введение 2–3 мас. ч. пероксида метилэтилкетона как инициатора реакции полимеризации, 1–2 мас. ч. нафтената кобальта как ускорителя реакции полимеризации, 1–5 мас. ч. кремнийорганической жидкости ПФМС-4 как модификатора полимерной матрицы и 30–70 мас. ч. молотого кварца как армирующего наполнителя.

Исследования показывают, что данные интервалы введения аддитивов позволяют достичь высоких степеней полимеризации метилметакрилата и, как следствие, высоких прочностных характеристик и низкого водопоглощения. Указанные соотношения компонентов также позволяют получить вязкость композиции, достаточную для хорошего смачивания как бетонной поверхности, так и поверхности частиц молотого кварца. Вязкость также достаточна для достаточно глубокой пропитки наружных слоев бетона за счет проникновения композиции в открытые поры и трещины на его поверхности. В результате между покрытием и бетонной поверхностью создается прочная адгезионная связь, а внутри самого покрытия образуется большое количество сшивков между макромолекулами связующего. Кроме того, применение кремнийорганического компонента в составе полимерной композиции позволяет улучшить гидрофобные свойства покрытия.

По итогам сравнения образцов получаемого покрытия с известным и близким ему по составу полимерным композиционным материалом установлено, что исследуемая полимерная композиция позволяет получать более прочный материал с увеличенной прочностью адгезионной связи с бетонными поверхностями и более низким водопоглощением. Это характеризует получаемое покрытие как качественную и конкурентоспособную продукцию.

Основным назначением полученной полимерной композиции является создание защитных покрытий на бетонных поверхностях промышленных и гражданских зда-

ний и сооружений. Возможно применение данной композиции при ремонтно-восстановительных работах, создании наливных полов и в качестве полимерного связующего для композиционных материалов и изделий различного назначения.

Список литературы

1. Ткачев А.В., Седых В.А. Современные технологии анионной полимеризации мономеров // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 3. С. 143–156.
2. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54–67.
3. Nasrollahi N., Ghalamchi L., Vatanpour V., Khataee A., Yousefpour M. Novel polymeric additives in the preparation and modification of polymeric membranes: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2022. Vol. 109. P. 100–124.
4. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов // Экология и промышленность России. 2020. № 2. С. 28–33.
5. Башкирцев Ю.В., Никишина О.С., Кручер И.Л., Ушаков С.В. Особенности разработки формообразующих клеевых составов для технического сервиса автомобилей // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 3. С. 58–61.
6. Alojaly H., Benyounis K.Y. Packaging With Plastics and Polymeric Materials. *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers*. 2022. Vol. 3. P. 485–501.
7. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Модификация полиорганосилоксаном связующего на основе полиуретана // Пластические массы. 2013. № 9. С. 8–10.
8. Сидорина А.И. Механические свойства полимерных композиционных материалов на основе российских высокопрочных углеродных наполнителей и полимерных матриц нового поколения // Химические волокна. 2018. № 2. С. 16–19.
9. Huang S., Fu Q., Yan L., Kasal B. Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials – A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. Vol. 13. P. 1441–1484.
10. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Характеристика современных материалов для облицовки фасадов и цоколей зданий и сооружений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 4. С. 55–61.
11. Чухланов В.Ю., Усачева Ю.В., Селиванов О.Г., Ширкин Л.А. Новые лакокрасочные материалы на основе модифицированных пипериленистирольных связующих с использованием гальваношлама в качестве наполнителя // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 12. С. 52–55.
12. Zhao Z., Qu X., Li J. Application of polymer modified cementitious coatings (PCCs) for impermeability enhancement of concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 249. Article 118769.
13. Степин С.Г., Степина Е.Л. Активность промышленных инициаторов в процессе полимеризации метилметакрилата // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2006. № 2. С. 142–146.
14. Тугов И.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров: учебное пособие для вузов. М.: Химия, 1989. 432 с.
15. Титова Е.Ю. Композиция на основе метилметакрилата, модифицированная полиметилфенилсилоксаном // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17813> (дата обращения: 24.08.2022).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРНОЙ ВЫЕМКИ

Цыганков Д.А.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», Новосибирск, e-mail: palsatan@outlook.com

Приводимая статья связана с рассмотрением вопросов охраны окружающей среды относительно рекультивации территории бывшей выемки карьера строительных материалов. В результате проведения упоминаемых работ было необходимо осуществить технический и биологический этапы рекультивации, которые отличаются по целям, задачам и срокам их выполнения. В отношении каждого из этапов анализируется используемая при проведении работ техника, а также определяются объёмы образующихся токсичных веществ, обуславливающих загрязнение воздуха. В дополнение к указанному проводится оценка воздействия работ на все оставшиеся главные природные среды: водную, земельную среду (почвы) и недра. Значительная часть проделанной работы относится к вопросам образования, складирования и утилизации производственных и бытовых отходов, связанных с проведением рекультивационных работ. В результате оценки степени их токсичности было выяснено, что они относятся к 4 и 5 классам опасности, а это позволяет размещать их на полигонах. Ввиду небольшой площади, занимаемой рекультивационными работами, а также отсутствия в этом районе краснокнижных и других охраняемых видов животных и растений воздействие рассматриваемых работ на флору и фауну региона характеризуется как незначительное. Основным итогом является вывод о том, что по главным направлениям воздействия на окружающую природную среду его предельно допустимые уровни не превышают допустимых значений. Воздушная среда, как основной объект воздействия, загрязняется выбросами используемой при проведении рекультивационных работ строительной и транспортной техники. На полигоны твёрдых отходов будут поступать отходы загрязнённого нефтепродуктами песка, а также всевозможный производственный и бытовой мусор.

Ключевые слова: окружающая среда, токсичные вещества, концентрация загрязнителя, твёрдые отходы, класс опасности, уровень воздействия

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE RECLAMATION OF THE QUARRY

Tsygankov D.A.

Novosibirsk State University of architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, e-mail: palsatan@outlook.com

This article is related to the consideration of environmental protection issues regarding the reclamation of the territory of the former excavation of a building materials quarry. As a result of carrying out the mentioned works, it was necessary to carry out the technical and biological stages of reclamation, which differ in goals, objectives and deadlines for their implementation. In relation to each of the stages, the equipment used during the work is analyzed, and the volumes of toxic substances formed that cause air pollution are also determined. In addition to the above, an assessment of the impact of the work on all remaining main natural environments – water, land (soil) and subsoil is carried out. A significant part of the work done relates to the issues of formation, storage and disposal of industrial and domestic waste associated with the implementation of reclamation work. As a result of assessing the degree of their toxicity, it was found that they belong to hazard classes 4 and 5, and this allows them to be placed at landfills. Due to the small area occupied by reclamation work, as well as the absence of Red Book and other protected species of animals and plants in this area, the impact of the work under consideration on the flora and fauna of the region is characterized as insignificant. The main result is the conclusion that in the main areas of impact on the environment, its maximum permissible levels do not exceed the permissible values. The air environment, as the main object of impact, is polluted by emissions of construction and transport equipment used during reclamation work. Wastes of sand contaminated with oil products, as well as all kinds of industrial and household waste will be sent to solid waste landfills.

Keywords: environment, toxic substances, pollutant concentration, solid waste, hazard class, exposure level

Согласно действующим в настоящее время нормативным документам проведение работ по закрытию отслуживших срок предприятий промышленного или гражданского назначения должно предусматривать мероприятия по охране окружающей среды. При этом должны учитываться требования рационального использования и воспроизводства природных ресурсов, а также выполняться задачи экологической безопасности

и охраны здоровья населения. Значимое место среди работ по охране природы занимает рекультивация нарушенных земель. В статье докладывается о фактических уровнях воздействия на окружающую природную среду процессов, проводимых при нанесении плодородного слоя почвы на нарушенную горными работами поверхность земли.

Целью научного исследования является проведение экологической оценки фак-

тического состояния окружающей среды, которое сформировалось в результате воздействия на неё процессов, связанных с проведением различных видов работ по рекультивации территории бывшего карьера строительных материалов. Приводятся результаты фактической оценки качественного состояния воздушной, водной и земельной сред, сформировавшегося под воздействием строительной техники, а также всевозможных видов отходов, образующихся в результате проведения работ по засыпке котлована бывшего карьера и нанесению плодородного слоя грунта.

Материалы и методы исследования

Научное исследование проведено на базе результатов анализа фактического состояния качества основных природных сред, сформировавшегося при проведении работ по рекультивации территории, ранее занимаемой выемкой бывшего карьера строительных материалов. Для проведения упоминаемой оценки применялись специализированные стандартизованные методики.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемый в работе объект представляет собой карьер строительных материалов. Согласно существующим правилам предусматривается строительное направление рекультивации – создание на нарушенной территории отработанного участка карьера устойчивого ландшафта в виде пологосклонной поверхности, восстановленной до проектных отметок с последующей высадкой многолетних трав и кустарников. В соответствии с [1] рекультивация выработанного пространства проводится последовательно техническим и биологическим этапами. Технический этап включает в себя обобщение всесторонних исследований участка расположения объекта рекультивации, его отсыпку технологическим рекультивационным грунтом, соответствующую требованиям [2], а также формирование уклонных полей, обеспечивающих равномерный сток атмосферных вод с поверхности и последующее сооружение перекрытия. Биологический этап осуществляется после проведения технического и включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель, а также сведение к минимуму воздействия на окружающую природную среду. На поверхности перекрытия формируется плодородный

слой и высеваются многолетние травы [3]. Общая продолжительность принимается исходя из разработанного календарного плана и составляет для технического этапа один год, а для биологического – четыре года.

В связи с инертностью искусственной биологической почвы рекультивация участка значимого влияния на окружающую среду не окажет. Основное техногенное влияние на окружающую среду будет оказано горнотранспортными механизмами, используемыми при проведении работ по рекультивации. Расчёты выбросов токсичных веществ проведены согласно [4–7].

При подготовительном периоде рекультивации длительностью один месяц основными источниками загрязнения атмосферы являются автосамосвалы, строительная техника (бульдозер, каток, автокран, экскаватор), пересыпка, сдвиг пыли с поверхности и заправка техники. Во время основного периода рекультивации, продолжительность которого составит четыре года, основными загрязнителями атмосферного воздуха также будут являться автосамосвалы и строительная техника (экскаватор, бульдозер, дробильная установка), автобус, поливомоечная машина, пересыпка строительных материалов, сдвиг с поверхности, загрузка в дробильную установку, выгрузка из неё и заправка техники.

Анализируя полученные данные рассеивания загрязняющих веществ, образующихся при всех видах загрязнений окружающей среды на период проведения работ, установлены предельно допустимые выбросы на уровне расчётных значений по всем веществам. Данные сведены в табл. 1.

Гидрографическая сеть района проведения работ представлена малой рекой, протекающей на расстоянии около 100 м от участка рекультивации. В выработанном пространстве бывшего карьера расположено несколько мелких водоёмов, образовавшихся за счёт атмосферных осадков и разгрузки подземных вод. На момент опробования поверхностные воды реки соответствуют требованиям по всем исследованным показателям качества [8]. Рекультивация участка не окажет значимого влияния на качество вод реки, поскольку концентрации компонентов химического состава поверхностных вод водоёмов, примыкающих к участку рекультивации, ниже, чем в речных водах, а расход речных вод многократно превышает разгрузку загрязнённых подземных вод.

Расчёт уровней шума машин и механизмов, используемых при проведении рекультивации выработанного пространства,

выполняется в последовательности – выявление источников шума, выбор расчётных точек у ближайших домов жилой застройки и определение допустимых уровней шума в расчётных точках у ближайших домов жилой застройки. Расчёты проведены в соответствии с требованиями [9, 10]. Полученные данные показывают превышение допустимых уровней звука в дневное время суток на границе жилой зоны только в двух точках. В остальных расчётных точках уровень шума будет в пределах нормы. Учитывая то, что период рекультивации недолгий, какие-либо сопутствующие мероприятия по защите от шума не потребуются.

Перечень и объёмы отходов, образующихся в результате проведения рекультивационных работ, приведены в табл. 2.

Все виды отходов, которые образуются в период производства работ по рекультивации, будут временно складироваться на специально оборудованных площадках с твёрдым покрытием и дальнейшим вывозом автотранспортом специализированных организаций.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду будет рассчитываться и вноситься в государственный бюджет в соответствии с [11]. Расчёт платы произведён за весь объём выбрасываемых загрязняющих веществ, осуществляемый в течение проведения подготовительного и основного периодов технической рекультивации. Данные приведены в табл. 3.

Расчёт компенсационных выплат за негативное воздействие на окружающую среду представлен в табл. 4.

Таблица 1

Предложения по нормативам предельно допустимых выбросов

Наименование	Подготовительный период		Основной период	
	Максимальный разовый, г/с	Валовый, т/г	Максимальный разовый, г/с	Валовый, т/г
Азота диоксид Азота IV оксид	0,4856746	3,676581	0,6514474	6,222411
Аммиак	0,0001857	0,003078	0,0001857	0,003078
Азота II оксид Азота оксид	0,078922	0,597445	0,1058601	1,011142
Углерод Сажа	0,0660078	0,345381	0,0882427	0,770932
Сера	0,0601701	0,478993	0,0767857	0,754573
Дигидросульфид Сероводород	0,0000267	0,000264	0,0000267	0,000264
Углерода оксид	0,6818311	3,307195	1,2973672	5,661822
Метан	0,0184264	0,305448	0,0184264	0,305448
Диметилбензол Ксилол	0,0001542	0,002556	0,0001542	0,002556
Метилбензол Толуол	0,0002517	0,004173	0,0002517	0,004173
Этилбензол	0,0000332	0,00055	0,0000332	0,00055
Бенз(α)пирен	0,0000004	0,000006	0,0000004	0,000006
Формальдегид	0,0042003	0,060556	0,0042003	0,060556
Бензин	0	0	0,1	1,5
Керосин	0,1935467	1,571892	0,1845884	0,718253
Алканы C ₁₂ -C ₁₉ Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	0,0062704	0,040177	0,0062704	0,040177
Пыль неорганическая 70–20% SiO ₂	0,3317453	0,833609	0,8973453	8,208796
Итого		11,227904		25,26474

Таблица 2

Полный перечень отходов

№	Наименование	Класс опасности	Количество	
			м ³	т
1	Отходы загрязнённого нефтью или нефтепродуктами песка (содержание менее 15%)	4	1,82	3,094
2	Отходы из выгребных ям	4	2100	2100
3	Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	4	184,8	33,264
4	Обтирочный материал, загрязнённый нефтепродуктами (содержание менее 15%)	4	10,675	2,135
5	Осадок механической очистки нефтесодержащих сточных вод, содержащий нефтепродукты в количестве менее 15%	4	1,097	1,097
6	Спецодежда	4	0,660	0,132
7	Спецобувь	4	0,812	0,130
Всего отходов 4 класса опасности			2299,86	2139,85
8	Мусор с территории	5	193,92	232,7
Всего отходов 5 класса опасности			193,92	232,7
Всего			2493,78	2372,55

Таблица 3

Плата за загрязнение атмосферного воздуха

Наименование	Фактический выброс, т	Норматив платы, руб./т	Размер платы, руб.
Азота диоксид	9,898	138,8	1373,98
Азота IV оксид	0,006	138,8	0,86
Аммиак	1,608	93,5	150,4
Азота II оксид	1,116	0	0
Азота оксид	1,233	45,4	56,01
Углерод	0,002	686,2	0,36
Сажа	8,969	1,6	14,35
Сера	0,61	108	65,98
Дигидросульфид	0,004	29,9	0,08
Сероводород	0,008	29,9	0,08
Углерода оксид	0,002	9,9	0,3
Метан	0,002	5472968,7	65,68
Диметилбензол	1,22	1823,6	220,86
Керосин	2,29	6,7	15,34
Алканы C ₁₂ -C ₁₉ Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	0,082	10,8	0,86
Пыль неорганическая 70–20% SiO ₂	9,043	56,1	507,51
Итого			2472,65

Плата за размещение отходов

Класс опасности	Наименование	Объём, т	Норматив платы, руб./т	Плата, руб.
4	Отходы песка, загрязнённого нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15%)	3,094	663,2	2051,94
4	Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	33,264	663,2	22060,68
5	Мусор с территории	232,7	17,3	4025,71
Итого				28138,33

Выводы

1. Атмосферный воздух. В связи с инертностью грунты, используемые в качестве рекультивационных, значимого влияния на окружающую среду не окажут. Основное техногенное влияние на окружающую среду будет оказано горнотранспортными механизмами. Концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при проведении рекультивации участка, находятся в пределах допустимых.

2. Почвы. В связи с невысокой интенсивностью потока загрязнения при рекультивационных работах включение в проект дополнительных технологических решений по геохимической изоляции объекта не представляется необходимым.

3. Поверхностные воды. Загрязнение поверхностных вод малой реки определяется поверхностным стоком с территории проведения работ и сбросом сточных вод. Значимое воздействие участка рекультивации невозможно, так как поверхностный сток с территории участка рекультивации отсутствует. Концентрации компонентов химического состава поверхностных вод водоёмов ниже, чем в речных водах, а их расход многократно превышает разгрузку загрязнённых подземных вод.

4. Подземные воды. На момент проведения исследований техногенный водоносный горизонт в толще карьера отсутствовал. При соблюдении состава принимаемых грунтов образование техногенного водоносного горизонта не предусматривается.

5. По данным расчётов фактические уровни звукового давления могут незначительно превышать допустимые. Мероприятия по защите от него не потребуются, поскольку воздействие будет краткосрочным и локальным.

Список литературы

1. ГОСТ Р 59057-2020 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель». Утверждён и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.09.2020 № 709-ст. М.: Росстандарт, 2021. 35 с.

2. ТУ 571270-001-23515787-2016 «Материал рекультивационный, полученный в результате обработки и утилизации нефтесодержащих и буровых отходов». М.: Росстандарт, 2016. 47 с.

3. ГОСТ Р 59060-2020 «Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации». Утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.09.2020 № 712-ст. М.: Росстандарт, 2021. 32 с.

4. Методика проведения инвентаризации загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчётным методом). М.: НИИАТ, 2016. 84 с.

5. Сборник методик по расчёту выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 137 с.

6. Временные рекомендации по вопросам воздухоохранной деятельности в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области. СПб.: НИИ «Атмосфера», 2018. 56 с.

7. Временное методическое пособие по расчёту выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. М.: НПО «Союзстройэкология», 1989. 68 с.

8. СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы». Утверждено главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22.06.2020. М.: Росстандарт, 2020. 53 с.

9. СН 2.2.4/2.1.8.562-16 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31.10.2016 № 36. М.: Росстандарт, 2016. 38 с.

10. СП 51.13330.2011 «Защита от шума». Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28.12.2010 № 825 и введён в действие с 20.05.2011. М.: Росстандарт, 2011. 45 с.

11. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71489914/> (дата обращения: 24.08.2022).

УДК 536.46:621.181

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ШЛАКОВАНИЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ КОТЛОВ ТП-87 НОВО-КЕМЕРОВСКОЙ ТЭЦ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В SIGMA FLAME

¹Чергинец О.А., ¹Дворовенко И.В., ^{1,2}Богомолов А.Р., ¹Темникова Е.Ю.

¹ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
Кемерово, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru;

²ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН», Новосибирск

Проведено моделирование топочных процессов котла ТП-87 Ново-Кемеровской ТЭЦ с применением пакета прикладных программ Sigma Flame. Получено распределение температур в топочной камере при близких к реальности режимных условиях и с использованием комбинированного метода. При близких к реальности режимных условиях температура газов в центре горизонтального сечения топки перед ширмовыми пароперегревателями на уровне аэродинамического выступа составляет 1434°, а у основания ширма – 1203°, это свидетельствует о том, что верхняя часть ширмового пароперегревателя, а также расположенные далее по газовому тракту конвективные ступени пароперегревателя расположены в зоне активного шлакования. Комбинированный метод включал в себя демонтаж пережима, применение попарной встречной крутки смежных турбулентных горелок, рециркуляцию дымовых газов в верхнюю часть топочной камеры, распределение расходных характеристик между соплами. Применение комбинированного метода позволяет снизить температуру дымовых газов перед конвективными поверхностями нагрева ниже температуры начала размягчения 1200°, что позволит предотвратить шлакование в верхней части топочной камеры, при этом абсолютная энтальпия продуктов сгорания с учётом газов рециркуляции будет достаточна для нагрева пара, воздуха и воды в конвективных поверхностях нагрева.

Ключевые слова: шлакование, снижение температуры дымовых газов, моделирование, Sigma Flame

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR REDUCING THE SLAGGING OF THE BOILER SUPERHEATER TP-87 OF THE NOVO-KEMEROVO THERMAL POWER PLANT USING SIMULATION IN SIGMA FLAME

¹Cherginets O.A., ¹Dvorovenko I.V., ^{1,2}Bogomolov A.R., ¹Temnikova E.Yu.

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru;

²S.S. Kutateladze Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

The modeling of the furnace processes of the TP-87 boiler of the Novo-Kemerovo thermal power plant was carried out using the Sigma Flame application software package. The temperature distribution in the furnace chamber is obtained under operating conditions close to reality and using a combined method. Under operating conditions close to reality, the gas temperature in the center of the horizontal section of the furnace in front of the screen superheaters at the level of the aerodynamic projection is 1434°C, and at the base of the screens 1203°C, this indicates that the upper part of the screen superheater, as well as the convective stages of the superheater located further along the gas path are located in the zone of active slagging. The combined method included the dismantling of the clamp, the use of pairwise counter-twisting of adjacent turbulent burners, the recirculation of flue gases into the upper part of the combustion chamber, the distribution of flow characteristics between the nozzles. The use of the combined method makes it possible to reduce the temperature of flue gases in front of convective heating surfaces below the temperature of the beginning of softening (1200°C), which will prevent slagging in the upper part of the combustion chamber, at the same time, the absolute enthalpy of combustion products, taking into account recirculation gases, will be sufficient to heat steam, air and water in convective heating surfaces.

Keywords: slagging, flue gas temperature reduction, modeling, Sigma Flame

Котельные агрегаты большинства электрических станций Сибири запроектированы на каменные угли марки «СС» Кузнецкого месторождения, отличающиеся от других углей высоким содержанием золы и ее абразивностью, тугоплавкостью и низкой влажностью [1].

Геологические запасы слабоспекающихся углей и близкие к ним по энергетическим характеристикам марки «Т», «ТС» и «А» на действующих угледобывающих предприятиях Кузбасса превышают 2 млрд т. Однако из-за повышенного спроса на вну-

треннем и мировом рынках эти марки обрабатываются высокими темпами и почти в полном объеме отправляются на экспорт [2]. В связи с этим энергетические предприятия Кузбасса, в том числе и Ново-Кемеровская ТЭЦ, были вынуждены перейти на сжигание длиннопламенных и газовых углей марок «Д», «ДГ» и «Г», которые хорошо разведаны, добываются более доступным открытым способом, обеспечивают более чем двукратное увеличение добычи угля в Кемеровской области и обладают невысокой стоимостью.

Переход на сжигание непроектного топлива позволил снизить выбросы окислов азота в атмосферу, сократить трудозатраты по приготовлению пыли, так как уголь марки «Д» имеет низкие показатели по механической прочности на истирание, и повысить надежность обеспечения Ново-Кемеровской ТЭЦ топливом.

Несмотря на перечисленные очевидные достоинства перехода на непроектное топливо, есть и недостатки. Угли марок «Д», «ДГ» и «Г» по сравнению со слабоспекающимися углями обладают большими шлакующими свойствами и вызывают интенсивное шлакование топочной камеры и радиационных поверхностей нагрева, расположенных в выходном окне топочной камеры, что приводит к частым аварийным остановам котельных агрегатов и влечет за собой экономические убытки, связанные с ограничением мощности и снижением выработки котельного агрегата, ухудшением технико-экономических показателей, а также высокими затратами на останов котельных агрегатов и проведение стояночной расшлаковки.

Образование шлаковых наростов обусловлено налипанием частиц расплавленной или размягченной под действием высокой температуры золы на поверхности нагрева котла, имеющие более низкие температуры. Для используемого на станции угля марки «Д» температура деформации (плавления) частиц золы уноса составляет 1270 °С, поэтому для предотвращения шлакования температура дымовых газов должна быть на 70–80 °С ниже и составлять порядка 1200 °С. Поддержание такой температуры дымовых газов перед радиационными поверхностями нагрева может осуществляться подачей газов рециркуляции из конвективного газового тракта с применением специальных сопел, расположенных в определенных местах, под различным углом атаки и выполняющих функцию регулирования.

Проведение натурных исследований по разработанному алгоритму многофункциональной схемы для нахождения мест, количества, угла наклона и поворота сопел в котлоагрегате требует значительных трудовых затрат.

Поскольку натурные исследования процессов в котлоагрегате трудоемки и затратны в отличие от моделирования с применением программных топочных средств, имеющихся на рынке, целью работы является определение фактических температур процессов внутри котлов ТП-87 Ново-Кемеровской ТЭЦ на основе моделирования про-

цессов по натурным габаритам котельного агрегата в пакете прикладных программ Sigma Flame.

Материалы и методы исследования

Для расчетов был использован свободно распространяемый программный комплекс «Sigma Flame», который применяют для решения задач гидродинамики и теплообмена на основе моделирования взаимосвязанных физических процессов, который содержит в себе весь необходимый инструментарий для создания расчетных сеток, проведения многопоточных вычислений и полноценного анализа результатов расчета [3].

Программный комплекс «Sigma Flame» состоит из трех основных модулей: модуль подготовки расчета, расчетный модуль, модуль анализа результатов. Модуль подготовки расчета включает в себя генератор сетки и модуль задания граничных и начальных условий, теплофизических параметров и параметров математической модели [3].

В расчетном модуле реализованы математические модели, описывающие стационарные и нестационарные ламинарные и турбулентные одно- и многокомпонентные течения сопряженного и лучистого теплообмена [3].

Для проведения анализа результатов расчета программный комплекс включает в себя модуль 3D-визуализации, позволяющий отображать скалярные значения физических величин в произвольных сечениях в виде изоповерхностей и графиков вдоль выбранных отрезков, значения векторных физических величин в произвольных сечениях – в виде поля векторов, геометрию расчетной области и ее сеточную дискретизацию [3].

В программе создана трехмерная модель котельного агрегата (рис. 1) по натурным габаритам и смоделированы топочные процессы, происходящие в нем.

Результаты исследования и их обсуждение

При близких к реальности режимных условиях было получено распределение температур в топочной камере (рис. 2, 3), по которым видно, что температура газов в центре горизонтального сечения топки перед ширмовыми пароперегревателями (на уровне аэродинамического выступа) составляет 1434°, а у основания ширм 1203°, что свидетельствует о том, что верхняя часть ширмового пароперегревателя, а также расположенные далее по газовому тракту конвективные ступени пароперегревателя расположены в зоне активного шлакования.

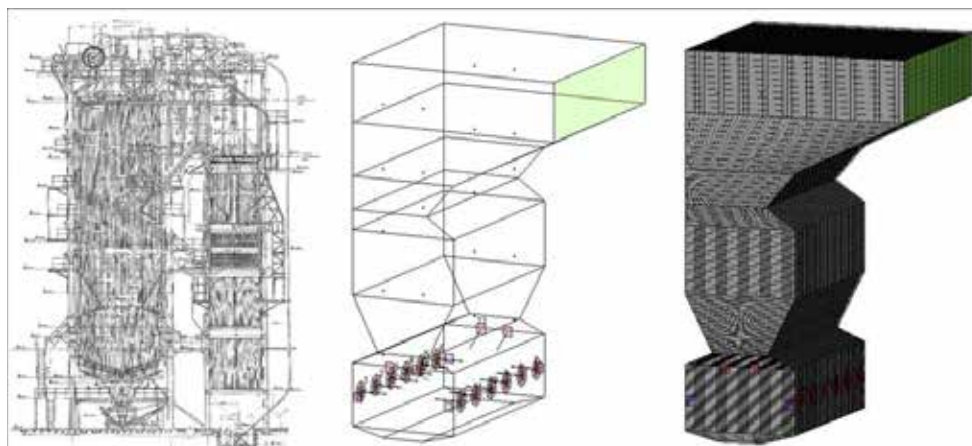


Рис. 1. Чертеж котельного агрегата ТП-87; 3D-модель котельного агрегата ТП-87; построение сеточной области (1 млн ячеек)

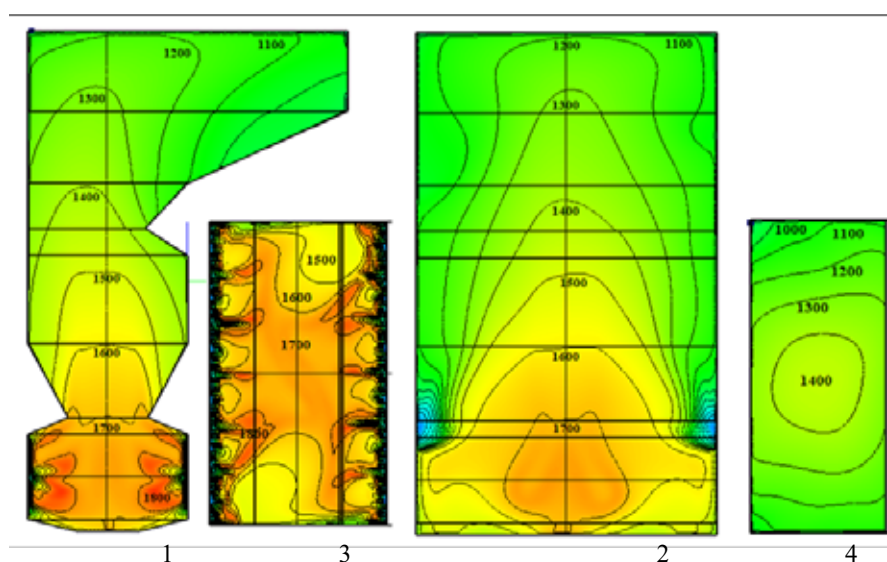


Рис. 2. Распределение температур в осевых сечениях топки: 1 – по продольному сечению; 2 – по поперечному сечению; 3 – по сечению на уровне горелок (отметка по высоте 9,15 м); 4 – по сечению на уровне аэродинамического выступа (отметка по высоте 21,9 м)

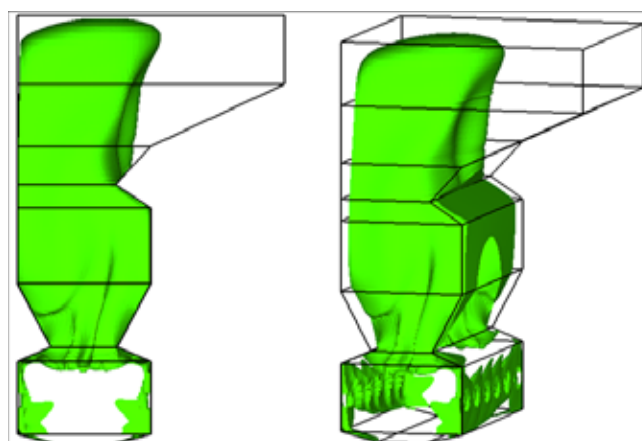


Рис. 3. Изоповерхность с температурой $T = 1200^\circ$

Полученные значения температур в объеме топочной камеры, а также значения коэффициента избытка воздуха на выходе из топки соответствуют фактическим параметрам, измеренным экспериментальным методом, что подтверждает верификацию модели и свидетельствует о том, что модель близка к реальной и может быть использована для дальнейшего анализа.

Поскольку причинами повышения температуры в топке являются несоответствие конструктивных параметров топки характеристикам сжигаемого топлива, нарушение оптимального воздушного и топливного режимов работы котельного агрегата, а также различные изменения других режимных факторов, таких как избыток воздуха, тонина помола и др., то большинство мероприятий по уменьшению шлакования направлены на снижение температуры дымовых газов в местах усиленного шлакования за счет регулирования вышеприведенных факторов.

В современной литературе существует множество методов, направленных на снижение локальной температуры и, как следствие, снижение локального шлакования, таких как: подача среды с более низкой температурой в места усиленного шлакования [2, 4], повышение избытка воздуха в топке [2, 4, 5], снижение присосов в топку [5, 6], изменение тонины помола [4], регулирование положения факела в топке [2, 4, 5], обеспечение оптимального воздушно-топливного режима [4, 5] и т.д.

Все методы имеют как преимущества, так и недостатки и снижают температуру перед ширмовыми пароперегревателями с разной эффективностью.

Для снижения шлакования ширмовых пароперегревателей котлов ТП-87 был разработан комбинированный метод, включающий в себя следующие мероприятия:

- демонтаж пережима, предназначенного для интенсификации процесса горения, и, как следствие, снижение температуры на выходе из топки за счет перераспределения продуктов сгорания по всему сечению топочной камеры;

- применение попарной встречной крутки смежных турбулентных горелок, позволившей снизить профиль температур дымовых газов за счет изменения крутки воздушных потоков горелочных устройств и перераспределения процессов горения в топке;

- рециркуляция дымовых газов в верхнюю часть топочной камеры, позволившая снизить температуру за счет внесения дополнительной среды с более низкой температурой. Подача газовой среды сравнительно низкой температуры в места усиленного шлакования была осуществлена при помощи сбросных сопел в количестве 5 шт., расположенных на заднем экране под аэродинамическим выступом (рис. 4, 2 – синий цвет);

- распределение расходных характеристик между соплами, позволившее распределить горение по всему сечению и снизить уровень температур в центре топочной камеры.

В этом методе учтены все недостатки и собраны все преимущества, присущие иным приведенным ранее методам. Применение комбинированного метода позволяет снизить температуру дымовых газов перед конвективными поверхностями нагрева ниже температуры начала шлакования (ниже 1200 °С), что позволит предотвратить шлакование в верхней части топочной камеры. При этом абсолютная энтальпия продуктов сгорания с учётом газов рециркуляции будет достаточна для нагрева пара, воздуха и воды в конвективных поверхностях нагрева.

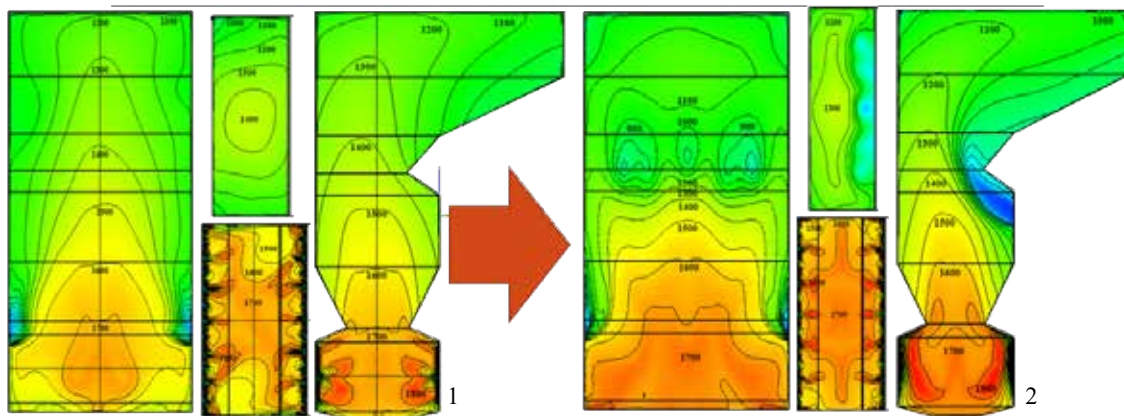


Рис. 4. Распределение температуры в осевых сечениях топки:
1) исходный вариант; 2) при использовании комбинированного метода

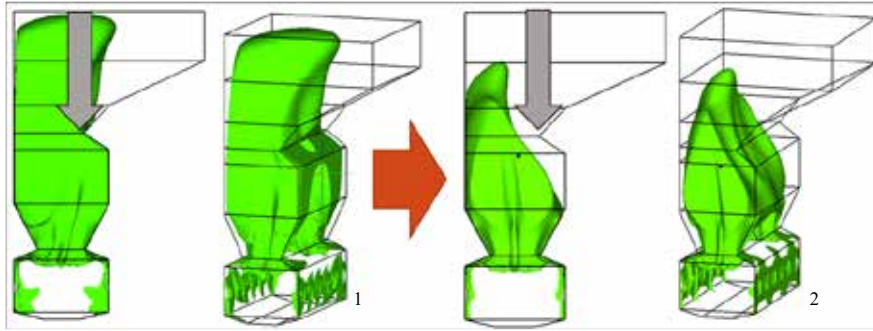


Рис. 5. Исоповерхность с температурой $T=1200$ °С:
1) исходный вариант; 2) при использовании комбинированного метода

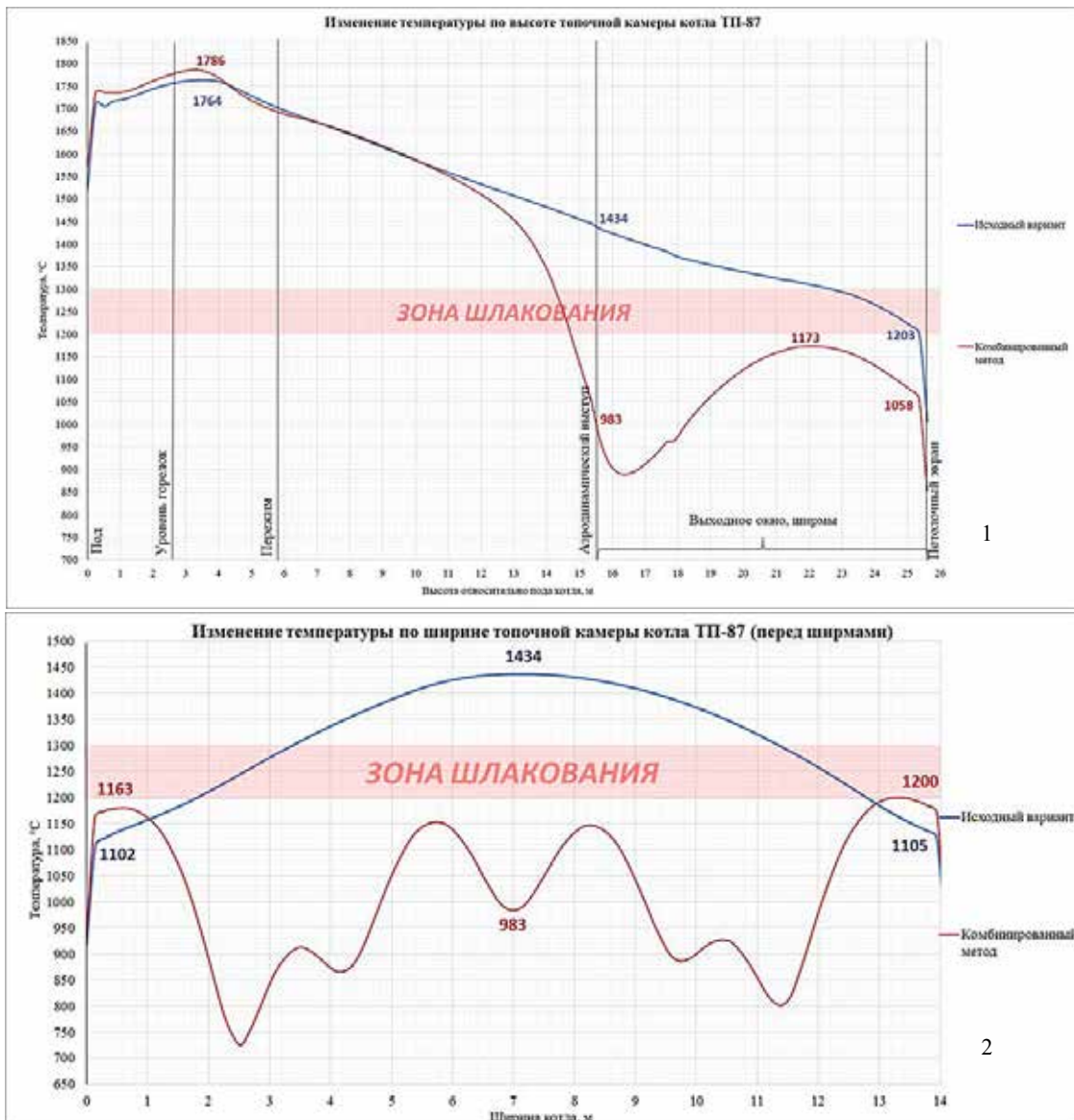


Рис. 6. Изменение температуры газов: 1) по высоте топочной камеры при комбинированном методе и одностороннем расположении на заднем экране под аэродинамическим выступом по сравнению с исходным вариантом; 2) по ширине топочной камеры в сечении перед ширмами в районе аэродинамического выступа при комбинированном методе и одностороннем расположении на заднем экране под аэродинамическим выступом по сравнению с исходным вариантом

Распределение температур в объеме топочной камеры приведено на рис. 4, изотермическая поверхность с температурой начала шлакования раной 1200 °С – на рис. 5, изменение температуры газов по высоте топочной камеры и по ширине газохода перед аэродинамическим выступом – на рис. 6.

Заключение

Таким образом, метод численного моделирования, рассмотренный в данной статье, является менее трудоемким и экономически затратным по сравнению с экспериментальными исследованиями, дает полную подробную информацию с учетом всех процессов, происходящих внутри котельного агрегата, позволяет решать проектно-конструкторские задачи при проектировании новых и модернизации существующих котельных агрегатов, а также решать множество проблем, возникающих во время эксплуатации энергетического котла, таких как шлакование поверхностей нагрева, вредные выбросы и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке в соответствии с дополнительным

соглашением о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (внутренний номер 075-ГЗ/Х4141/687/3).

Список литературы

1. Чурашев В.Н. Альтернативы развития Кузнецкого угольного бассейна // Регион: экономика и социология. 2012. Т. 74. № 2. С. 206–226.
2. Хзмаян Д.М., Каган Д.М. Теория горения и топочные устройства: учебное пособие. М.: Энергия, 1976. 488 с.
3. Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Гаврилов А.А., Харламов Е.Б., Филимонов С.А. Свободно распространяемый программный комплекс SIGMA FW для моделирования гидродинамики и теплообмена // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2017. № 10 (4). С. 534–542.
4. Алехнович А.Н. Шлакование пылеугольных энергетических котлов: учебное пособие. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2013. 116 с.
5. Мейкляр М.В. Паровые котлы с естественной циркуляцией: учебное пособие для машиниста парового котла. М.: Госэнергоиздат, 1955. 279 с.
6. Гулей А.Б., Ключка Е.П. Оценка зависимости температуры дымовых газов на выходе из топки парового котла ТП-81 от нерасчетных присосов воздуха через неплотности в ограждении топки // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2014. № 4. С. 39–51.

УДК 004.032.26

ДИАГНОСТИКА МЕЛАНОМЫ ПУТЕМ АНАЛИЗА ДЕРМАТОСКОПИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Чудаков Г.А., Джунковский А.В.

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва,
e-mail: george1005@yandex.ru

Цель излагаемого в данной статье исследования состоит в изучении применимости нейронных сетей и технологий компьютерного зрения в сфере диагностирования меланомы. Сегодня существуют программные продукты по анализу снимков с камеры смартфона, которые предупреждают человека о высокой вероятности наличия злокачественного процесса и необходимости обратиться к врачу. Какие-либо данные о точности диагностики с помощью данных программ отсутствуют в свободном доступе. Научная новизна данной разработки заключается в том, что анализу подвергаются дерматоскопические снимки, полученные с использованием профессионального оборудования, поскольку именно такие снимки анализируются в повседневной врачебной практике. Гипотеза заключается в том, что нейронная сеть способна диагностировать подозрительные в отношении меланомы дерматоскопические снимки с качеством, сопоставимым с достаточно опытным врачом. Существуют подобные зарубежные исследования, в которых показывается, что данная гипотеза имеет право на жизнь. Для обучения и тестирования нейронной сети был использован датасет, классифицированный врачом-онкологом на две категории: «обычный невус» и «невус с подозрением на злокачественность». В результате исследования был разработан прототип собственной нейронной сети и проведен ряд экспериментов существующих нейронных сетей, которые заключались в оценке дерматоскопических снимков с целью выявления подозрений на злокачественность и определения наиболее подходящей модели.

Ключевые слова: меланомы, нейронные сети, сверточные нейронные сети, большие данные, классификация изображений

DETERMINING THE PRESENCE OF MELANOMA BY ANALYZING A DERMATOSCOPIC IMAGE USING A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Chudakov G.A., Dzhunkovskiy A.V.

Moscow Polytechnical University, Moscow, e-mail: george1005@yandex.ru

The purpose of the study is the applicability of neural networks and computer vision technologies in the diagnosis of melanoma of the skin. Now there are software products for the analysis of images from a conventional smartphone camera that warn a person about the high probability of the presence of a malignant process and the need to consult a doctor. Any data on the accuracy of diagnostics using these programs are not freely available and purely theoretically, these programs are more entertaining than research since their verdict is most often, "You should not / should consult a doctor." The scientific novelty of this development lies in the fact that dermatoscopic images obtained using professional equipment are analyzed, since it is such images that are analyzed in everyday medical practice. The hypothesis is that the neural network is able to diagnose dermatoscopic images suspicious of melanoma with a quality commensurate with a sufficiently experienced doctor. There are similar foreign studies in which it is shown that the neural network is able to determine the presence of melanoma from a dermatoscopic image with an accuracy no worse than the average oncologist. To test the neural network, a dataset and a transcript to it, which was compiled by an oncologist. Result of the study is a prototype of a neural network, which was developed, and a number of experiments, which consisted in evaluating dermatoscopic images by a neural network and comparing them with data from decoding.

Keywords: melanoma, neural networks, convolutional neural networks, big data, image classification

На сегодняшний день меланомы являются одним из самых опасных видов рака. Заболеваемость в России, по статистике, составляет около 8700 случаев в год [1].

Первичная диагностика меланомы представляет собой довольно сложный процесс. Для успешного диагностирования к опыту врача-онколога должно быть приложено оборудование соответствующего качества. И если со вторым фактором в последнее время есть некоторые положительные сдвиги, то с первым, к сожалению, ситуация сложнее. Опытных

врачей-онкологов, специализирующихся в области дерматоскопии, в России не так много, как хотелось бы. Особенно ценны специалисты, способные распознать опасное образование на самой ранней стадии, заподозрить так называемую меланому *in situ*, тем самым существенно повысить шансы пациента на полное выздоровление. Ведь именно от стадии обнаружения меланомы существенно зависят показатели выживаемости больных [2]. На рис. 1 представлен график, описывающий выживаемость пациентов.

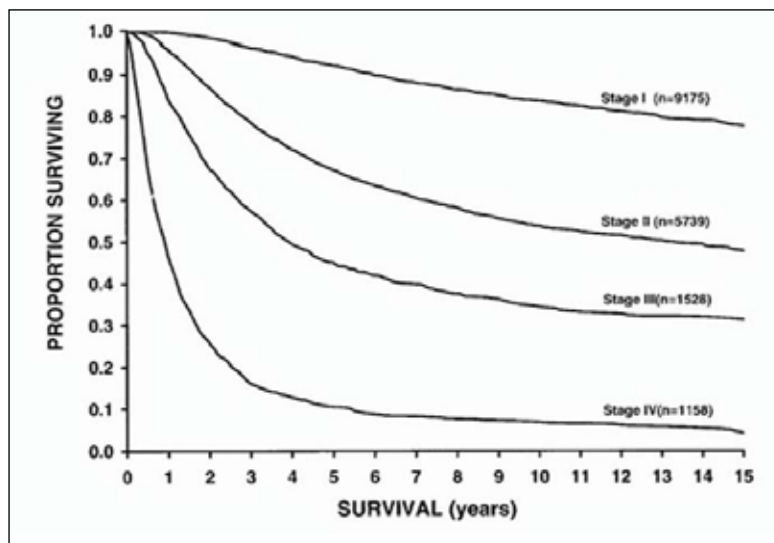


Рис. 1. График выживаемости в зависимости от стадий заболевания

По итогам исследования были проведены сравнения результатов нейронной сети с заключениями врачей-онкологов, и мнение врачей на 86% совпадало с ответом нейронной сети, что можно считать хорошим результатом, не уступающим результатам зарубежных исследований [3].

Цель данной работы заключается в доказательстве гипотезы, которая заключается в том, что нейронная сеть способна диагностировать подозрительные в отношении меланомы дерматоскопические снимки с качеством, соизмеримым с достаточно опытным врачом.

Материалы и методы исследования

При определении меланомы по дерматоскопическим снимкам в качестве одного из критериев для постановки диагноза часто

используют так называемую систему ABCDE [4]: Asymmetry (асимметрия), Border (края), Color (цвет), Dimension (диаметр), Evolution (развитие). Принимаются во внимание также факторы, перечисленные на рис. 2.

Исходя из того, что дооперационное диагностирование меланомы, как показано выше, происходит визуальным путем, возникает идея привлечения к данной проблеме нейронных сетей, которые с успехом справляются с задачами классификации изображений в других предметных областях. Например, VGG16 – модель сверточной нейронной сети, предложенная К. Simonyan и А. Zisserman из Оксфордского университета в статье [5]. Модель достигает точности 92,7% – топ-5 при тестировании на ImageNet в задаче распознавания объектов на изображениях.



Рис. 2. Факторы, характерные для меланомы

Были поставлены две задачи:

1. Разработать сверточную нейронную сеть.
2. Провести ряд тестов, используя наборы графических данных, которые были отобраны и классифицированы врачом-онкологом.

Для обучения нейронной сети был собран датасет из 3300 снимков [6], который был классифицирован по двум категориям:

1. Невус с подозрением на наличие меланомы.
2. Обычный невус.

Также к данному датасету были добавлены изображения, полученные в повседневной врачебной практике врачами специализированной клиники Меланома-Юнит и некоторыми другими специалистами, изъявившими желание помочь проведению данного исследования. Всего к первичному датасету было добавлено около 700 снимков. В таблице можно ознакомиться с соотношением количества изображений каждой категории в двух наборах.

Наборы графических данных

Тип набора изображений	Невус с подозрением на наличие меланомы	Обычный невус
Обучающий набор	500	3500
Набор для тестирования	600	600

Следует отметить, что полученный датасет весьма несимметричен: количество снимков меланом существенно меньше, чем количество снимков обычных невусов. Этот факт объясняется естественными причинами, поскольку частота выявления меланомы среди общего числа дерматологических исследований невелика.

Для разработки прототипа нейронной сети использовалась библиотека TensorFlow. Схема разработанной модели нейронной сети представлена на рис. 3.

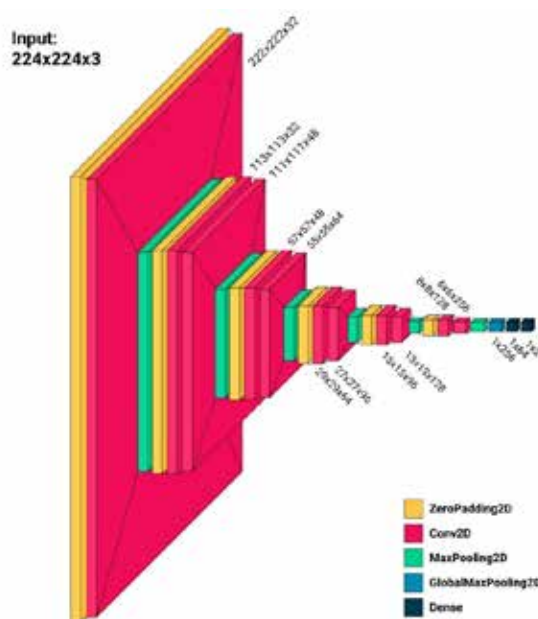


Рис. 3. Схема модели нейронной сети

Были созданы ядра свертки, которые устанавливают ограничивающие правила, учитывая входные данные слоя, такие как фильтры и размеры ядер слоя, для получения тензоров выходных данных, где тензор – алгебраический объект, который описывает связь между векторами в едином пространстве, затем данные слои связываются друг с другом и создают единую модель, через которую и будут проходить макроснимки [7, 8]. Разработанная модель состоит из 26 слоев.

Нейронная сеть была обучена на описанном выше датасете и протестирована на данных, не использовавшихся при ее обучении. По итогам испытаний ответ нейронной сети совпал с мнением группы высококвалифицированных врачей онкологов-дерматологов в 86% случаев. Некоторые из проверочных дерматоскопических снимков приведены на рис. 4, 5.

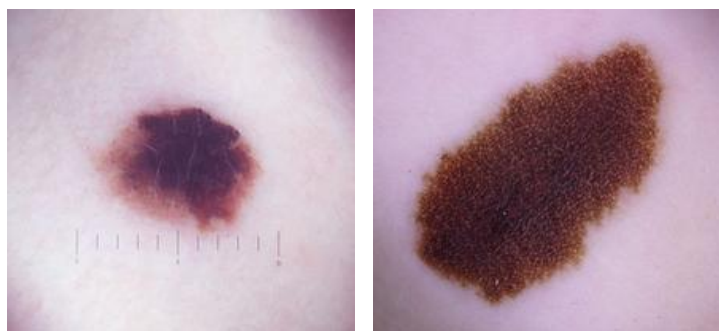


Рис. 4. Обычные невусы



Рис. 5. Невусы с подозрением на наличие меланомы

Также был произведен эксперимент по выявлению применимости к поставленной задаче иных моделей нейронной сети. Эксперимент проводился с помощью Microsoft ML Builder. В результате при минимальном количестве итераций наилуч-

ший результат, по мнению данного инструмента, показала глубокая нейронная сеть модели ResNet50.

На рис. 6 и 9 изображены злокачественные образования, и нейронная сеть на 75+% утверждает, что они являются меланомой.



Рис. 6. Случайное изображение из датасета с меланомой

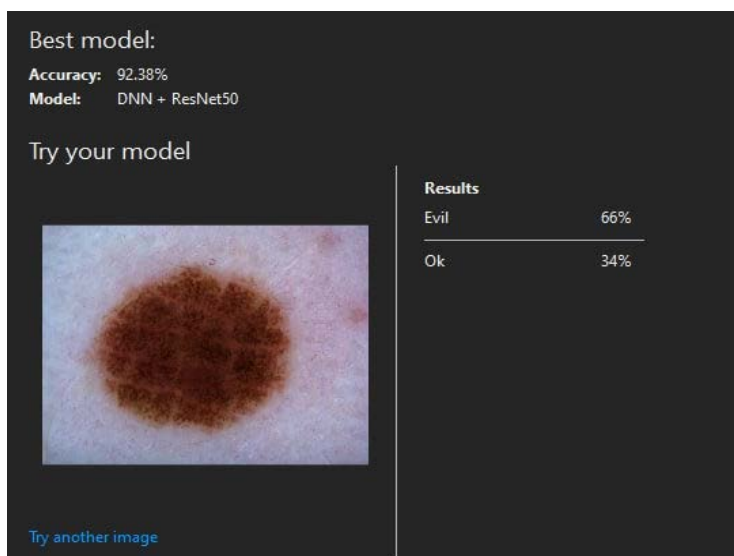


Рис. 7. Случайное изображение из датасета с доброкачественным образованием

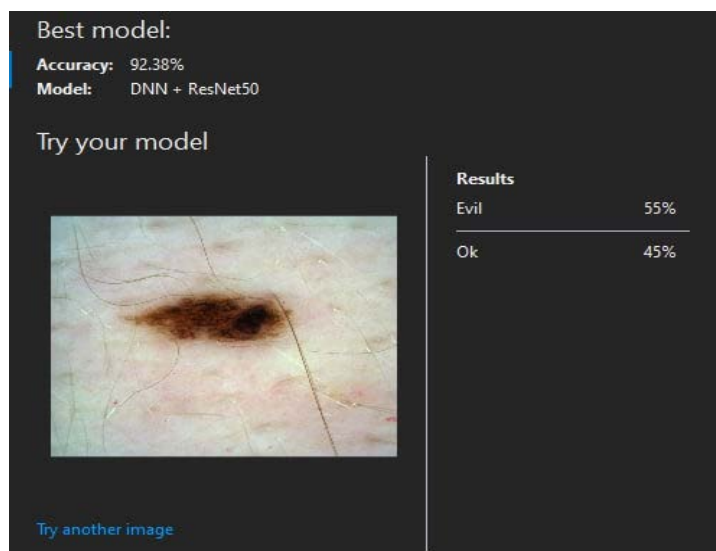


Рис. 8. Случайное изображение из датасета с доброкачественным образованием

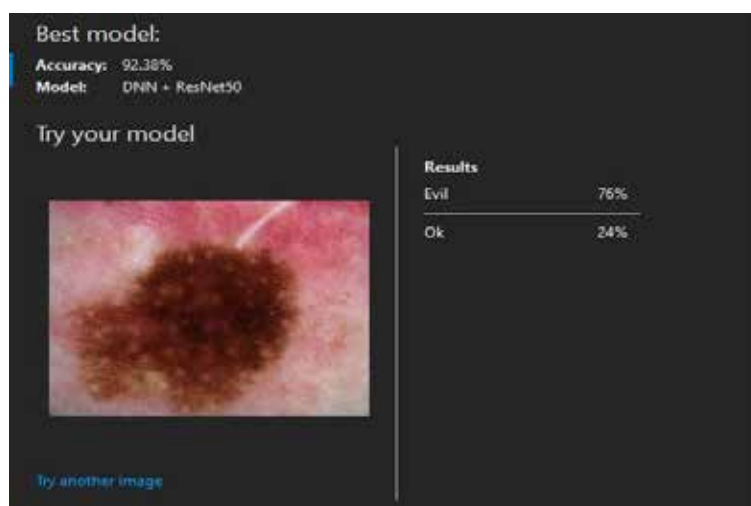


Рис. 9. Случайное изображение из датасета с меланомой

На рис. 7 и 8 изображены доброкачественные образования, но при этом нейронная сеть больше склоняется к тому, что они злокачественные.

При изучении статьи ResNet (34, 50, 101): «остаточные» CNN для классификации изображений [9] было рассмотрено все семейство ResNet моделей от 18-слойной части до 152-слойной. На рис. 10 можно увидеть таблицу, в которой описывается, из каких слоев состоит каждая из моделей (18-слойная, 34-слойная, 50-слойная, 101-слойная и 152-слойная), а также трудозатратность вычислений каждой из них.

Также в статье присутствуют результаты работы разных моделей нейронных сетей и статистика их ошибок на датасете

ImageNet и PASCAL VOC. В датасете присутствуют сложные изображения, на которых расположены объекты, которые могут подходить под несколько меток сразу или входить только в одну категорию.

По результатам эксперимента, описанного в статье [8], при классификации изображений лучший результат показывает ResNet-152, показывая лучшую точность, чем семейство моделей VGG, поэтому требуется провести эксперимент по вычислению лучшей модели для задачи выявления наличия или отсутствия невуса (рис. 11).

top-1 err – данная оценка показывает, совпадает ли высший класс, который имеет наибольшую вероятность, с целевой меткой;

layer name	output size	18-layer	34-layer	50-layer	101-layer	152-layer
conv1	112×112	7×7, 64, stride 2				
conv2_x	56×56	3×3 max pool, stride 2				
		$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 64 \\ 3 \times 3, 64 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 64 \\ 3 \times 3, 64 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$
conv3_x	28×28	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 128 \\ 3 \times 3, 128 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 128 \\ 3 \times 3, 128 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 8$
conv4_x	14×14	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 256 \\ 3 \times 3, 256 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 256 \\ 3 \times 3, 256 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 23$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 36$
conv5_x	7×7	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 512 \\ 3 \times 3, 512 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 512 \\ 3 \times 3, 512 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$
	1×1	average pool, 1000-d fc, softmax				
FLOPs		1.8×10 ⁹	3.6×10 ⁹	3.8×10 ⁹	7.6×10 ⁹	11.3×10 ⁹

Рис. 10. Таблица слоев ResNet18-152

method	top-1 err.	top-5 err.
VGG [41] (ILSVRC'14)	-	8.43 [†]
GoogLeNet [44] (ILSVRC'14)	-	7.89
VGG [41] (v5)	24.4	7.1
PReLU-net [13]	21.59	5.71
BN-inception [16]	21.99	5.81
ResNet-34 B	21.84	5.71
ResNet-34 C	21.53	5.60
ResNet-50	20.74	5.25
ResNet-101	19.87	4.60
ResNet-152	19.38	4.49

Рис. 11. Частота ошибок (%) для одной модели в наборе валидации ImageNet

top-5 err – данная оценка показывает, является ли целевая метка одним из ваших топ-5 прогнозов (5 с наибольшей вероятностью).

Чем меньше каждая из оценок, тем больше совпадение.

Полученный результат демонстрирует, что заявленная гипотеза действительно подтверждает, что использование нейронных сетей в анализе дерматоскопических снимков с изображенными на них невусами, целесообразна, так как результаты работы прототипа собственной нейронной сети и врачи из Меланомы Юнит поставили одинаковый диагноз в 86% случаев, что близко к медицинской практике профессионального врача-онколога.

Также опыт отечественных и зарубежных разработок с использованием уже готовых нейронных сетей и нейронных сетей

с иной структурой показывает, что можно улучшить данный результат, унаследовав опыт и модернизируя на его основе прототип.

Заключение

Использование нейронных сетей в дерматоскопии открывает спектр возможностей в первичной диагностике меланомы, что может предоставить дополнительный способ первичного выявления меланомы (сервис второго мнения) и, возможно, заменит отсутствие возможности консультации у квалифицированного врача онколога-дерматолога.

Список литературы

1. Эркенова Ф.Д., Пузин С.Н. Статистика меланомы в России и странах Европы. [Электронный ресурс]. URL: <https://journals.eco-vector.com/1560-9537/article/view/34259> (дата обращения: 20.11.2021).

2. Tsai S., Soong S., Balch C.M., Lange J.R. Disparities in the management of melanoma in elderly patients: An analysis of patients from the National Cancer Database. [Электронный ресурс]. URL: https://ascopubs.org/doi/abs/10.1200/jco.2011.29.15_suppl.8522 (дата обращения: 20.11.2021).
3. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks/ Andre Esteva, Brett Kuprel, Roberto A. Novoa, Justin Ko, Susan M. Swetter, Helen M. Blau, Sebastian Thrun. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nature.com/nature/journal/v542/n7639/full/nature21056.html> (дата обращения: 20.11.2021).
4. ABCDE / AbbreviationFinder. [Электронный ресурс]. URL: https://www.abbreviationfinder.org/ru/acronyms/abcde_asymmetry-border-color-diameter-evolving.html (дата обращения: 30.07.2022).
5. Simonyan Karen, Zisserman Andrew. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition conference paper at ICLR 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://deepai.org/publication/very-deep-convolutional-networks-for-large-scale-image-recognition> (дата обращения: 20.11.2021).
6. Fanconi Claudio. Skin Cancer: Malignant vs. Benign. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/fanconi/skin-cancer-malignant-vs-benign> (дата обращения: 20.11.2021).
7. Keras: deep learning API / Keras-team. [Электронный ресурс]. URL: <https://keras.io/api/> (дата обращения: 20.11.2021).
8. TensorFlow: machine learning / TensorFlow. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf (дата обращения: 20.11.2021).
9. Литвинов Станислав. ResNet (34, 50, 101): «остаточные» CNN для классификации изображений. [Электронный ресурс]. URL: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/resnet-34-50-101/> (дата обращения: 17.05.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА

Янковский С.А., Мисюкова А.Д.

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,

Кемерово, e-mail: jankovsky@tpu.ru;

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,

Томск, e-mail: jankovsky@tpu.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов распыления смесевых топлив, сформированных на основе каменного угля марки Т (Тошций) в смеси с отходами лесопиления (опилки в основном сосновых пород древесины). Произведено сравнение угла раскрытия струи при давлении 1 бар и 2 бара. Распыление смесевых топлив проводилось при среднем размере частиц угля и древесины менее 200 мкм. Формирование смесевых топлив осуществлялось в шаровой барабанной мельнице с мелющими телами в разных концентрационных соотношениях угля и древесины (90/10%, 75/25%, 50/50%). Установлено, что наиболее эффективно процесс распыления происходит при давлении подающей струи воздуха, равном 2 бара. Угол раскрытия факела при увеличении древесной компоненты в смеси на 25% остается таким же, как при распылении однородного угля. При увеличении доли древесной компоненты до 50% угол раскрытия факела увеличивается на 0,5% по сравнению с углом раскрытия струи однородного угля. Увеличение угла раскрытия факела приводит к наиболее равномерному распределению частиц смесевых топлив в потоке, что впоследствии приведет к более равномерному сжиганию таких топлив в топках энергетических котлов.

Ключевые слова: уголь, древесина, форсунка, распыление, камера сгорания

INVESTIGATION OF COMPOSITE FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS

Yankovskiy S.A., Misyukova A.D.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, e-mail: jankovsky@tpu.ru;

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: jankovsky@tpu.ru

The results of experimental studies of the processes of atomization of mixed fuels formed on the basis of coal of grade T (Skinny) mixed with sawmill waste (sawdust, mainly pine wood) are presented. A comparison was made of the jet opening angle at a pressure of 1 bar and 2 bar. Mixed fuel spraying was carried out at an average particle size of coal and wood less than 200 microns. The formation of mixed fuels was carried out in a ball drum mill with grinding media in different concentration ratios of coal and wood (90% / 10%, 75% / 25%, 50% / 50%). It has been established that the most efficient spraying process occurs at a pressure of the supply air jet equal to 2 bar. The opening angle of the torch with an increase in the wood component in the mixture by 25% remains the same as when spraying homogeneous coal. With an increase in the proportion of the wood component to 50%, the opening angle of the torch increases by 0.5% compared to the opening angle of a homogeneous coal jet. An increase in the flame opening angle leads to the most uniform distribution of mixed fuel particles in the flow, which subsequently leads to more uniform combustion of such fuels in the furnaces of power boilers.

Keywords: coal, wood, nozzle, atomization, combustion chamber

Рост добычи и потребления угля в последние десятилетия замедлен из-за существенного экологического ущерба, наносимого тепловыми электрическими станциями при его сжигании в целях выработки тепловой и электрической энергии. На данный момент большинство исследований в области энергетики направлены на минимизацию выбросов антропогенных газов [1, 2] и на обоснование перспектив использования альтернативных источников энергии [2–4]. Одним из таких источников является энергия, полученная при сжигании биомассы. Древесина в качестве биомассы, как добавка к углю, является наиболее популярной в последние годы из-за нескольких особенностей. Во-первых, данный вид биомассы является доступным. Ежегодно в России полезным способом утилизируется 2 млн т продуктов переработки древес-

ных отходов, а формируется таких отходов ежегодно более 30 млн т [5]. Во-вторых, древесина является углерод-нейтральной компонентой, то есть количество диоксида углерода, выбрасываемого в атмосферу при сжигании древесины, равно количеству CO_2 , поглощенному из атмосферы при её росте [6]. В-третьих, древесина является возобновляемым источником энергии. Сжигание отходов переработки деловой древесины в энергетических целях само по себе неэффективное мероприятие, а ее глубоко переработанные продукты или сама древесина как добавка к основному энергетическому топливу – достаточно перспективное направление в энергетике. Применение биомассы как экологически эффективной и иницирующей добавки в смеси с углем на ТЭС может привести к существенному снижению выбросов диоксида серы в ды-

мовых газах [7], что впоследствии позволит снизить формирование кислотных дождей, дефолиацию древесных растений и сохранить леса.

Для эффективного внедрения технологий по сжиганию мелкодисперсных смесевых топлив на основе угля и древесины необходимо решить ряд задач. Первая – проработка систем топливоприготовления, например, совместное или отдельное с последующим смешением. Вторая – совместное сжигание таких топлив в горелочных устройствах. Третья – плечи доставки и системы хранения.

На данный момент обозначенный ряд задач недостаточно решен или в некоторых случаях не решен вовсе для внедрения данной технологии повсеместно, поэтому и существуют единичные успешные проекты с максимальной концентрацией биомассы в смеси с углем не более 13%. Поэтому нами было принято решение в данной работе рассмотреть решение одной из озвученных ранее задач.

Целью данной работы является исследование процессов распыления каменного угля в смеси с отходами переработки древесины (сосновых опилок) при разных концентрационных составах и давлениях воздуха при подаче топлива в топку аэродинамического имитатора камеры сгорания.

Материалы и методы исследования

Перед началом экспериментов древесная биомасса подсушивалась (влажность не более 5,5%), далее измельчалась механическим способом и с помощью сит просеивалась (средний размер частиц менее 200 мкм). Тощий уголь измельчался с применением шаровой барабанной мельницы и просеивался через сито с тем же размером

ячеек, что и древесина. Формирование смесевых топлив осуществлялось в шаровой барабанной мельнице с мелющими телами в разных концентрационных соотношениях угля и древесины (90/10%, 75/25%, 50/50%), смешение осуществлялось на протяжении 10 мин.

Технический анализ исходных компонент и смесевых топлив осуществлялся ранее и приведен в работе [8].

Из анализа табл. 1 видно, что увеличение доли древесной биомассы до 50% в смеси с углем марки Т приводит к незначительному снижению калорийности таких топлив на 3,6%. При этом снижение (по объему) зольного остатка таких топливных смесей составило 39,7%. В угле марки Т содержание серы достаточно высоко 0,6% при увеличении доли древесной компоненты в смеси до 50% приводит к ее существенному и неаддитивному снижению в смесевом топливе на 61,7%.

Экспериментальные исследования проводились на стенде, позволяющем моделировать топку котлоагрегата с системой распыла сухих смесевых топлив в широком диапазоне давлений. В качестве распыляющего агента использовался воздух, который компрессором 5 подавался на форсунку с топливной системой 2. Разовая экспериментальная загрузка топлива осуществлялась весом $0,5 \pm 0,01$ кг. Для фото- и видеофиксации струя топлива подсвечивалась лазерной установкой 3 с лучом, ориентированным по оси факела. Фоторегистрация струи осуществлялась в момент ее подсвечивания лазерным импульсом, при помощи высокоскоростной цифровой камеры. Принципиальная схема и фото экспериментальной установки представлены на рис. 1.

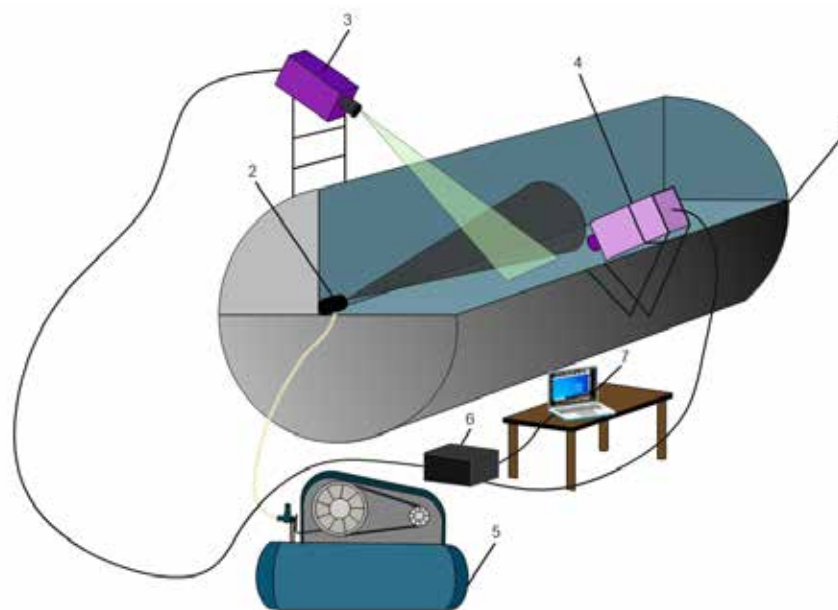
Таблица 1

Результаты анализа теплоты сгорания, влажности, зольности, выхода летучих веществ и элементный анализ исследовавшихся смесевых топлив

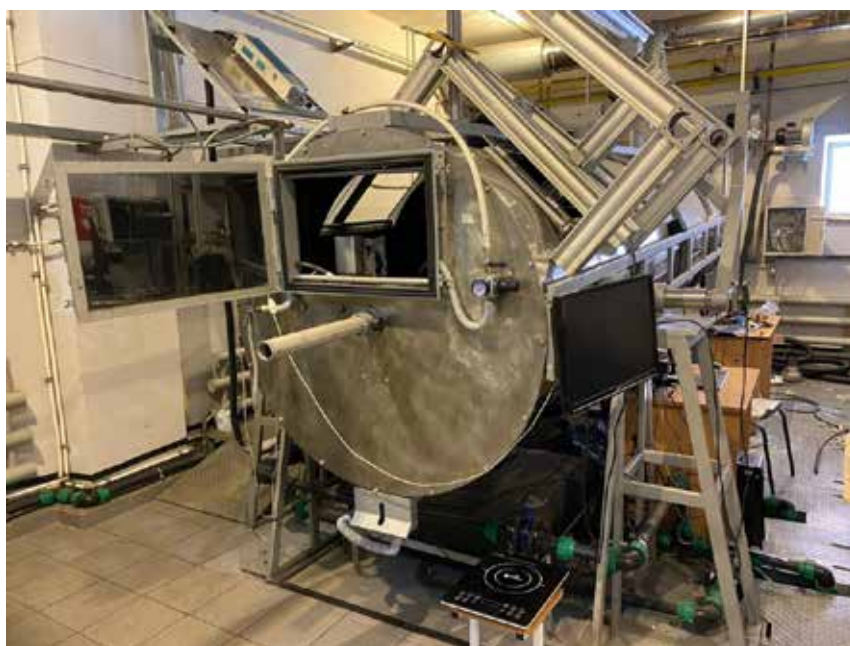
Топливо (древесина/уголь), %	Технический анализ			Теплотворная способность, Q , МДж/кг	Элементный состав ¹			
	Влажность, W^a	Зольность, A^d	Выход летучих, V^{daf}		С	Н	Н	$S_{орг}$
	%				%			
0 Древ / 100 Т	5,52	18,37	24,93	25,72	84,3	6,4	2,9	0,6000
10 Древ / 90 Т	5,42	14,24	26,46	25,60	53,5	4,1	1,4	0,4100
25 Древ / 75 Т	5,34	13,65	28,33	25,22	52,2	4,4	1,2	0,3200
50 Древ / 50 Т	5,41	11,08	39,95	24,79	51,0	4,9	0,8	0,2300
100 Древ / 0 Т	5,35	0,29	80,25	21,73	50,48	5,75	0,04	0

Индексы a, d, и daf – аналитическая, сухая и беззольная масса пробы.

¹по отношению к массе сухого образца.



а)



б)

Рис. 1. а) экспериментальная установка для исследований характеристик распыления пылевидных смесевых топлив: 1 – аэродинамический имитатор камеры сгорания, 2 – форсунка с системой распыления топлива, 3 – лазер, 4 – высокоскоростная видеокамера, 5 – компрессор, 6 – блок синхронизации, 7 – персональный компьютер;
б) фото экспериментальной установки

На рис. 2 приведены типичные изображения результатов исследования угла раскрытия факела при распылении смесевых древесно-угольных смесей при давлении 1 бар (рис. 2, а) и 2 бара (рис. 2, б).

Выполнена расшифровка полученных изображений углов раскрытия факела топливных смесей при различных значениях давлений. Результаты расшифровок результатов экспериментов приведены на рис. 3.

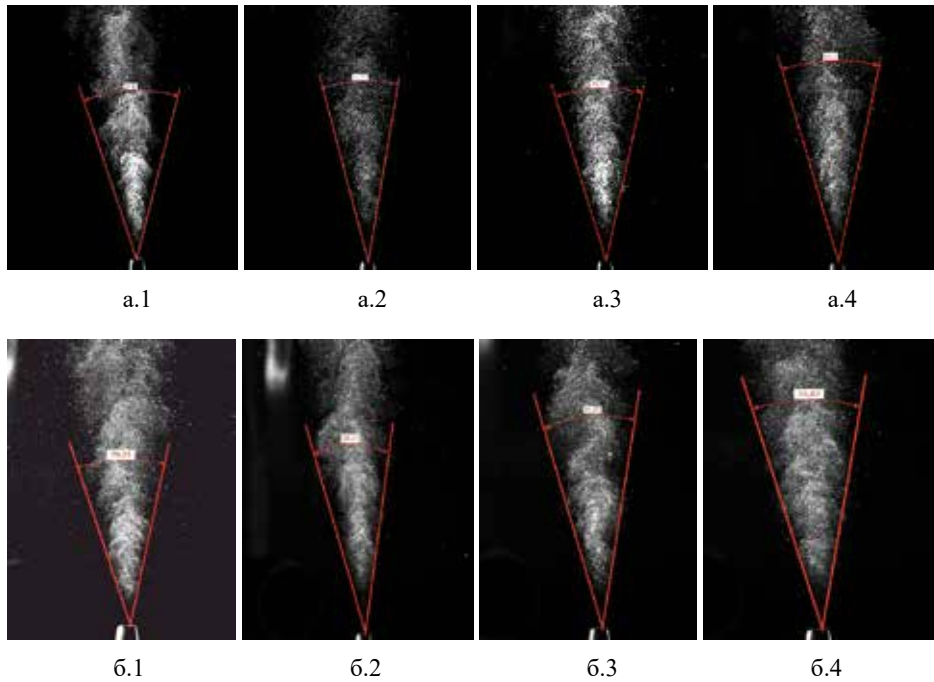


Рис. 2. Типичные изображения углов раскрытия топливных смесей на основе угля и древесины при давлениях 1 (а) и 2 (б) бара с изменением доли древесины в смеси от 10 до 50%:
 1. Уголь – 100% _Древесина – 0%. 2. Уголь – 90% _Древесина – 10%.
 3. Уголь – 75% _Древесина – 25%. 4. Уголь – 50% _Древесина – 50%

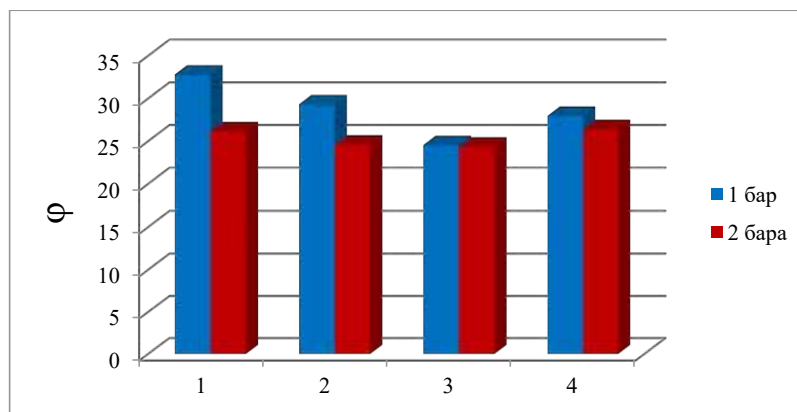


Рис. 3. Результаты анализа изменения углов раскрытия струи распыла однородного угля и топливных смесей при доле древесины от 10 до 50% с учетом изменения давления в системе от 1 до 2 бара:
 1. Уголь – 100% _Древесина – 0%. 2. Уголь – 90% _Древесина – 10%.
 3. Уголь – 75% _Древесина – 25%. 4. Уголь – 50% _Древесина – 50%

Результаты экспериментов показали, что при постоянном давлении, равном 1 бар и увеличении доли древесной компоненты до 50% в смеси изменяется в меньшую сторону угол раскрытия факела. Например, при соотношении компонент уголь/древесина 90/10% угол уменьшается менее чем на 10,5%, при соотношении 75/25% угол раскрытия факела уменьшился менее чем на 25%, а при равном соотношении ком-

понент уменьшение угла раскрытия факела составляет 15% по сравнению с углом раскрытия факела при распылении однородного угля. Уменьшение угла раскрытия факела приводит к неравномерному распределению топлива по топке, а значит, наименее эффективному сжиганию. Поэтому давление в 1 бар является неэффективным для смесевых топлив на основе диспергированных частиц угля и древесины.

Таблица 2

Результаты анализа случайных погрешностей измерений

Давление, бар	1				2			
Состав смеси (уголь/древесина)	100/0	90/10	75/25	50/50	100/0	90/10	75/25	50/50
Среднее значение угла раскрытия струи, $\bar{\alpha}_i$	32,49	29,36	24,42	27,99	26,39	24,62	24,37	26,51
Случайная погрешность измерений, $\Delta S_{\bar{\alpha}_i}$	0,476	0,296	0,307	0,158	0,466	0,281	0,109	0,352
Среднеквадратичная погрешность, %	1,47	1,01	1,26	0,57	1,77	1,14	0,45	1,33

Анализ углов раскрытия факела смесевых топлив при давлении 2 бара показал менее существенное изменение. При концентрациях древесной компоненты в смеси от 10 до 25% угол раскрытия факела уменьшился менее чем на 6% по сравнению с углом раскрытия факела однородного угля. При соотношении компонент уголь/древесина 50/50% угол раскрытия факела не изменился по сравнению с углом раскрытия факела однородного каменного угля. Результаты исследований проводились для каждой топливной смеси не менее пяти раз с хорошей повторяемостью.

Выполнены оценки систематических и случайных погрешностей определения угла раскрытия струи, которые не превышали 2%. Установлена удовлетворительная повторяемость результатов экспериментов при использовании смесевых топлив, идентичных по своему составу и отличающихся только концентрацией основных компонент. Установлено, что в период времени стабильного распыления факела повторяемость экспериментов является наиболее высокой. Результаты расчетов случайных погрешностей приведены в табл. 2.

Заключение

Экспериментальные исследования по совместному распылу угольной пыли в смеси с опилками показали, что минимальное давление составляет 2 бара, ниже которого угол раскрытия снижается и не приводит ни к каким положительным эффектам. Установлено, что при таком давлении и доле древесной компоненты в смеси с углем равной 50% угол раскрытия факела смеси идентичен углу раскрытия факела однородного угля. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при давлении,

равном 2 бара, равновесная смесь будет распыляться в соответствии с распылом однородного угля и не приведет к существенным изменениям процесса распыления. Полученные результаты исследования позволяют предположить, что при увеличении давления можно получить эффект с увеличением угла раскрытия факела при равном по массе соотношении компонент (уголь/древесина) в смеси.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FZES-2021-0008.

Список литературы

1. Key World Energy Statistics 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020> (дата обращения: 17.06.2022).
2. Opydo M., Dudek A., Kobyłecki R. Characteristics of solids accumulation on steel samples during co-combustion of biomass and coal in a CFB boiler. *Biomass and Bioenergy*. 2019. Vol. 120. P. 291–300.
3. Nyashina G.S., Vershina K.Y., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Effective incineration of fuel-waste slurries from several related industries. *Environ Res*. 2019. Vol. 176. P. 108559.
4. Rokni E., Ren X., Panahi A., Levendis Y.A. Emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and HCl from Co-firing of coals with raw and torrefied biomass fuels. *Fuel*. 2018. Vol. 211. No. 363. P. 74.
5. Energy Agency I. Key World Energy Statistics 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021> (дата обращения: 21.06.2022).
6. Li G., Wang B., Wang Z., Li Z., Sun Q., Xu W.Q., et al. Reaction Mechanism of Low-Temperature Selective Catalytic Reduction of NO_x over Fe-Mn Oxides Supported on Fly-Ash-Derived SBA-15 Molecular Sieves: Structure-Activity Relationships and in Situ DRIFT Analysis. *J Phys Chem C*. 2018. Vol. 122. No. 20210. P. 31.
7. Yankovsky S.A., Kuznetsov G.V. Physicochemical Transformations of Mixed Fuels Based on Typical Coals and Wood upon Heating. *Solid Fuel Chem*. 2019. Vol. 53. No. 1. P. 22–28.
8. Yankovsky S.A., Tolokolnikov A.A., Misyukova A.D., Kuznetsov G.V. On the Effect of the Distances between Coal and Wood Particles during Their Joint Pyrolysis on Sulfur Oxides Formation. *Energies*. 2021. Vol. 14. P. 8321.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 664.8.036.522

**НЕТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ
ФРУКТОВЫХ СОКОВ**

Бурак Л.Ч.

ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com

Ежегодное увеличение потребительского спроса на свежие, минимально обработанные пищевые продукты способствует поиску новых методов и технологий, обеспечивающих максимальное сохранение пищевой ценности продуктов и их безопасность. Традиционные методы обработки, такие как нагревание, сушка и замораживание, связаны с потерей питательных веществ и высокой энергоемкостью процесса. Фруктовые соки – это продукты, способствующие укреплению иммунитета за счет содержания в своем составе биологически активных веществ, обладающие функциональной и физиологической пользой для здоровья. Организация процесса переработки сырья и получение фруктовых соков с минимальной потерей пищевой ценности является одной из важнейших задач предприятий пищевой промышленности. В связи с этим используемые методы и технологии обработки должны соответствовать глобальным целям получения продукции высокого качества. Решение данных задач способствует созданию и применению инновационных методов минимальной технологической обработки сырья в процессе производства и хранения. Эти технологии направлены на максимальное сохранение биологически активных веществ и пищевой ценности, при одновременном уничтожении патогенных микроорганизмов и дезактивации ферментативной активности, тем самым увеличивая срок годности фруктовых соков. Цель данного обзора – анализ избранных инновационных технологий нетермической обработки по результатам опубликованных исследований, характеристика их эффективности в обеспечении качества фруктовых соков и срока годности, аспекты устойчивости технологий, новые тенденции, существующие возможности и ограничения в применении.

Ключевые слова: фруктовые соки, обработка, качество, термические методы, нетермические технологии, ультразвук, высокое давление, импульсный свет, озон, микробиологическая обсемененность

NON-THERMAL METHODS FOR FRUIT JUICE PRESERVATION

Burak L.Ch.

LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com

The annual increase in consumer demand for fresh, minimally processed food products contributes to the search for new methods and technologies that ensure the maximum preservation of the nutritional value of products and their safety. Traditional processing methods such as heating, drying and freezing are associated with nutrient loss and high energy intensity of the process. Fruit juices are products that help strengthen the immune system, due to the content of biologically active substances in their composition, which have functional and physiological health benefits. Organization of the processing of raw materials and obtaining fruit juices with minimal loss of nutritional value is one of the most important tasks of food industry enterprises. In this regard, the processing methods and technologies used must comply with the global goals of obtaining high quality products. The solution of these problems contributes to the creation and application of innovative methods of minimal technological processing of raw materials during production and storage. These technologies are aimed at maximizing the preservation of biologically active substances and nutritional value, while simultaneously destroying pathogenic microorganisms and deactivating enzymatic activity, thereby increasing the shelf life of fruit juices. The purpose of this review is to analyze selected innovative non-thermal processing technologies based on the results of published studies, characterize their effectiveness in ensuring fruit juice quality and shelf life, aspects of technology sustainability, new trends, existing opportunities and limitations in application.

Keywords: fruit juices, processing, quality, thermal methods, non-thermal technologies, ultrasound, high pressure, pulsed light, ozone, microbiological contamination

Благодаря широкой осведомленности потребителей о влиянии продуктов питания и образа жизни на здоровье спрос на здоровую и питательную пищу значительно возрос. Фруктовые соки обладают высокой пищевой ценностью, так как богаты биологически активными соединениями, антиоксидантами, фенольными соединениями, антоцианами, каротиноидами и многими другими веществами. Следует отметить, что пандемия COVID-19 способствовала увеличению спроса потребителей на продукты, повышающие иммунитет, в том числе и на такие, как фруктовые соки. Объем

мирового рынка фруктовых соков составляет 48,6 млрд л, и прогнозируется, что в течение 2021–2026 гг. рынок будет увеличиваться в среднем на 2,1% [1]. Более того, фруктовые соки подходят потребителям всех возрастных групп, не содержат аллергенов, лактозы, холестерина и могут употребляться потребителями-вегетарианцами. Однако фруктовые соки по своей природе являются скоропортящимися, так как содержат большое количество влаги и питательных веществ [2, 3]. Таким образом, обработка фруктовых соков является важным аспектом производства соков, так

как от этого зависит качество и стабильность готового продукта при хранении. Методы обработки направлены на сохранение фруктового сока путем воздействия на объекты порчи, в число которых входят не только микробы, но и ферменты. Наиболее часто используемым методом обработки является обычная термическая обработка. Хотя консервирование и обработка термическими методами, такими как пастеризация, стерилизация и асептическая упаковка, эффективны для инактивации микроорганизмов и ферментов, вызывающих порчу, в то же время они влияют на внешний вид и органолептические показатели продукта. Несмотря на эффективность снижения микробной нагрузки и ферментативной активности, термическая обработка приводит к ухудшению качества фруктового сока с точки зрения питательных, функциональных, физико-химических и органолептических свойств [4]. Кроме того, потребители отдают свое предпочтение минимально обработанным пищевым продуктам, качество которых остается стабильным в процессе хранения. Поэтому для удовлетворения текущих потребностей покупателя появилось множество новых нетермических технологий обработки фруктовых соков. Данные нетрадиционные технологии обработки являются модификациями термической обработки, первые из которых также известны как методы минимальной обработки, которые сохраняют общее качество пищи, то есть сохраняют питательные и органолептические характеристики, снижают микробную нагрузку и ферментативную активность, тем самым улучшая сохранность фруктовых соков, что приводит к увеличению срока их хранения. За последнее десятилетие количество исследований, касающихся новых нетермических методов обработки фруктовых соков заметно увеличилось [5, 6]. Новые методы обработки в сравнении с традиционными технологиями имеют ряд преимуществ, таких как более короткое время воздействия, лучшая скорость массопереноса, лучшая функциональность продукта, более длительный срок хранения продукта и т.д., что в целом приводит к улучшению сохранности фруктовых соков [7, 8]. Наряду с обеспечением высокого качества продукции, имеющим первостепенное значение, немаловажным аспектом, который следует учитывать, является устойчивость используемой технологии обработки. Общеизвестно, что традиционные методы обработки, широко применяемые в пищевой промышленности, энергоемки,

так как требуют немалого количества ресурсов, что вызывает острую потребность в альтернативах, которые являются сравнительно более устойчивыми и безопасными для окружающей среды. Новые нетермические методы включают в себя технологические методы и механизмы, которые снижают время обработки фруктовых соков; в свою очередь, они могут иметь меньшее воздействие на окружающую среду, например снижение потребления энергии и других ресурсов, таких как вода, сокращение отходов производства и т.д. Таким образом, инновационные технологии обработки играют значимую роль в обеспечении экологической устойчивости, а также в повышении качества и безопасности пищевых продуктов, благодаря их эффективности для сохранения обработанных фруктовых соков. Цель данного обзора – анализ избранных инновационных технологий нетермической обработки по результатам опубликованных исследований, характеристика их эффективности в обеспечении качества фруктовых соков и срока годности, аспекты устойчивости технологий, новые тенденции, существующие возможности и ограничения в применении.

1. Нетермические технологии переработки фруктовых соков

В последнее десятилетие разработаны и получили применение различные инновационные нетепловые технологии, которые доказали свою эффективность по обеспечению качества и сохранению фруктовых соков, не снижая пищевой ценности готового продукта, не оказывая существенного влияния на органолептические и физико-химические показатели. Данные технологии вызывают микроструктурные изменения как в растительных тканях, так и в готовом соке, повышая экстракционную способность каротиноидов, фенольных соединений, витаминов и минералов, извлекаемость и/или биодоступность, что необходимо для их воздействия. Кроме того, эти технологии отвечают требованиям покупателя употреблять минимально обработанные или свежие фруктовые соки. Такие инновационные технологии обработки включают, среди прочего, обработку ультразвуком (US), обработку высоким давлением (HP), обработку импульсным светом (PL), обработку импульсным электрическим полем (PEF) и обработку озоном. Эффективность применения данных методов изучалась многими авторами в процессе обработки различных фруктовых соков, некоторые результаты обобщены в таблице.

Применение технологий нетермической обработки для фруктовых соков

Применяемая технология	Продукт	Условия обработки	Результат обработки, источник
Ультразвук (US)	Клубничный сок	40 кГц, 180 Вт, 15 и 30 мин. Срок хранения (14 дней, 5 °С)	Повышение пищевой ценности, снижение микробиологической обсеменённости (уменьшение нативной микрофлоры на 1 log КОЕ мл ⁻¹) и сохранение органолептических и физико-химических свойств [9]
Ультразвук (US)	Айвовый сок	20 кГц, 400 Вт, 20 мин	Активность РРО снижена до 35 % [10]
Ультразвук (US)	Сок из дыни	376 Вт см ⁻² , 10 мин. Срок хранения (42 дня, 4 °С)	Снижена активность ферментов (POD 23,29%, РРО 70,48%) и улучшена устойчивость к помутнению; восстановленные фенольные соединения (30%) [11]
Обработка ультразвуком	Сливовый сок	400 Вт, 40 кГц, 40–60 °С в течение 5–30 мин	Повышенная функциональность (аскорбиновая кислота увеличилась на 11,40–18,55%, общее содержание фенолов увеличилось на 17,98–18,35%, каротиноидов увеличилось на 2,19–4,30%, флавоноидов увеличилось на 10–16%, антиоксидантная активность увеличилась на 32,52–48,5%). Микробиологическая стабильность при термозвуковой обработке 60 °С [12]
Обработка высоким давлением (НР)	Морковно-апельсиновый сок	200–400 МПа, 5 мин	Снижение <i>L. innocua</i> более чем на 5 log [13]
Обработка высоким давлением (НР)	Виноградный сок	319–531 МПа, 35–205 с, 5 °С	Снижение микробного количества (<i>S. enterica</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> 0157:H7) более 5 15-логарифмических значений достигается при умеренном давлении (~ 400 МПа) и коротком времени выдержки (~ 2 мин) [14]
Обработка высоким давлением (НРР)	Неосветленный яблочный сок	200–600 МПа, 5–45 °С, 1–15 мин. Срок хранения (84 дня, 4 °С)	Снижение активности ферментов (РРО < 1% и POD 33%) Повышенная стабильность цвета, но сниженное общее содержание фенолов [15]
НРР	Сок асаи	400–600 МПа, 20 °С, 5 мин	Сохранение антоцианов (40%) и других биоактивных соединений [16]
НРР	Сок манго	200–600 МПа, 15 мин	Органолептические качества сока, обработанного НРР, были ниже, чем у свежего сока, но выше, чем у сока, прошедшего термическую обработку; спирты (68,39%) и альдегиды (29,21%) сохраняем [17]
PLP	Ананасовый сок	1,8–2,4 кВ, 47–187 импульсов	5-логарифмическое уменьшение количества микробов (аэробных мезофилов, дрожжей, плесени) при 94 импульсах; инактивация ферментами POD (42%) и РРО (50%) наблюдалась при 187 импульсах [18]
PLP	Яблочные соки (два вида), апельсиновый сок, виноградный сок, минеральная вода, изотоническая вода, сливовый сок, молоко, кофе и газированные напитки	30 кВ, 3000 импульсов, 200 мс, 0,97–29,21 Дж см ⁻² плотность потока	Снижение содержания микробов (<i>P. aeruginosa</i>) в минеральной воде, изотонической воде, яблочном соке, сливовом соке и газированных напитках на 7 log [19]
PLP	Апельсиновый сок, кокосовый сок, ананасовый сок	3 импульса/с, 0–15 с, 0,18–5,6 Вт см ⁻² плотность потока	4–5 логарифмических микробных (<i>E. coli</i> MTCC 433) уменьшение при максимальной плотности потока [20]

Окончание табл.

Применяемая технология	Продукт	Условия обработки	Результат обработки, источник
PLP (NILP)+PEF	Яблочный сок	NILP: 360 μ s, 3 Гц PEF: 24 и 34 кВ см ⁻¹ , 89 импульсов, 89 μ s	PEF с последующим NILP привел к уменьшению количества микробов (<i>E. coli</i> K12) на $\geq 6,42$ логарифмических цикла [21]
PEF	Апельсиновый сок	Биполярные импульсы, 25 мкс, 30 л ч ⁻¹ , 20 кВ см ⁻¹	<i>E. coli</i> была уменьшена на 5,6 десятичного знака, а <i>S. cerevisiae</i> была полностью инактивирована [22]
	Яблочный сок	Импульсы прямоугольной формы, 3–8 мкс, 15–35 кВ/см	Предварительный нагрев сока и PEF (60 °C) приводит к полной дезактивации ферментов (POD PPO) [23]
MPEF	Черничный сок	7 мл мин ⁻¹ , прямоугольные импульсы, 0,15 мс, 350 В	Полная микробная инактивация, сохранение биоактивных соединений [24]
PEF	Виноградный сок	80 мл мин ⁻¹ , 1 кГц, 600 мкс, 0–25 кВ см ⁻¹	Уменьшение количества микробов и сохранение функциональных, питательных и физико-химических качеств при максимальной напряженности электрического поля [25]
PEF	Апельсиновый сок	60 мл мин ⁻¹ , прямоугольные импульсы, 4 мкс, 35 кВ см ⁻¹ , 200 Гц	Сохранение биологически активных соединений (90,8% витамина С, 37,6% антиоксидантной способности) [25]
Озон (OZ)	Сок из дыни	7,7 \pm 2,4 г л ⁻¹ , 10 мин	Микробное (<i>L. innocua</i>) снижение ($> 5 \log_{10}$) и сохранение биологически активных соединений (витамин С 68%, фенольные соединения) и физико-химических свойств [26]
OZ	Сок из дыни	7,0 \pm 2,4 г л ⁻¹ , 60 мин	Микробное (<i>A. acidoterrestis</i>) восстановление (2,22 \pm 0,04 логарифмических цикла); повышено содержание фенолов (69%), но снижено содержание каротиноидов (83%), витамина С (76%) и антиоксидантной активности (52%) [26]
OZ	Яблочный сок	12 мг л ⁻¹ , 30 мин	Снижение содержания патулина (75,36%), а также фенольных соединений и органических кислот [27]
OZ	Персиковый сок	0,06–2,48 г л ⁻¹ , 20 \pm 1 °C, 0,3–12 мин	Пониженная вязкость и незначительные или незначительные физико-химические изменения (рН, °Brix, титруемая кислотность, цвет, индекс потемнения) [28]
OZ	Клубничный сок	7,8% мас./мас., 10 мин	Разложение цвета, антоцианы (98,2%) и аскорбиновая кислота (85,8%) [29]
US	Клубничный сок	0,29 Вт/мл · 55°C, 3 мин	Увеличенный срок хранения сока до 42 дней [30]
HPP		300 МПа, 1 мин	Увеличенный срок хранения сока до 42 дней; лучшее удержание фитохимических веществ; повышенное содержание антоцианов (15%) [31]
PEF		35 кВ см ⁻¹ , 27 мкс	Увеличенный срок хранения сока до 28 дней; повышенное содержание антоцианов (17%) [32]

Обозначения: NILP – световые импульсы высокой интенсивности; HPP – обработка высоким давлением; MPEF – микроцип-импульсное электрическое поле; OZ – озонирование; PEF – импульсное электрическое поле; PLP – импульсный свет; US – ультразвук.

1.1. Обработка ультразвуком

Ультразвук – это звуковые волны, которые превышают слышимый звуковой диапазон в 20 кГц. Возникновение сжатия и разрежения происходит, когда ультразвук движется или распространяется через среду, что, в свою очередь, генерирует большое количество электричества и вызывает увеличение скорости массопереноса. Ультразвуковые волны высокой интенсивности и низкой частоты оказывают разрушительное действие на микроорганизмы и вызывают различные положительные изменения в составе пищевых продуктов. Частоты такого ультразвука колеблются от 20 до 100 кГц с диапазоном мощностей 110–1000 Вт/см². Уникальная характеристика ультразвука высокой интенсивности заключается в том, что он вызывает акустическую кавитацию, вызывающую подъем и опускание пузырьков, что приводит к образованию высокой энергии. Ультразвук производится электрическими импульсами, которые преобразуются в звуковую энергию необходимой частоты и интенсивности [33].

Свежие фрукты подвержены ускоренной порче, и сохранение их качества для предприятий пищевой промышленности является очень сложной задачей. Ферменты и патогенные микроорганизмы, присутствующие во фруктовых соках, должны быть дезактивированы во время обработки, чтобы предотвратить порчу. Ультразвук применяется для обработки сока, поскольку его эффекты сдвига и сжатия приводят к денатурации белка с последующим снижением активности ферментов, тем самым предотвращая ферментативную порчу. Кроме того, силы сдвига и быстро меняющиеся давления, создаваемые ультразвуковыми волнами, приводят к кавитации, которая в значительной степени снижает микробиологическую обсемененность фруктовых соков. Ультразвук оказывает действие на клеточную мембрану микробов, вызывая истончение мембраны, а также термическую инактивацию из-за локального нагрева за счет кавитации. Установлено, что ультразвук при 376 Вт см⁻² в течение 10 мин значительно снижает активность ферментов РОД (23,29%) и РРО (70,48%) в соке дыни [11], в то время как ультразвук при 400 Вт в течение 20 мин предотвратил ферментативное потемнение сока айвы на 35%, которое вызывает из-за ПФО [10]. В связи с растущим спросом на функциональные продукты, такие как напитки с пробиотиками и пребиотиками, ультразвук является многообещающей технологией, которую можно использовать для повышения качества фруктовых соков. Ультразвуковая

обработка богатого пребиотиками клубничного сока мощностью 180 Вт в течение 30 мин увеличивает срок годности еще на 4 дня при 10-дневном хранении за счет снижения нативной микрофлоры до 1 log КОЕ мл⁻¹ на 14-й день, в то время как содержание фенолов увеличилось на 25% в течение периода хранения [9]. Однако из-за низкой летальности ультразвука различные микроорганизмы, особенно микробные споры, могут выдерживать ультразвуковое воздействие. Поэтому для достижения более высокой микробной летальности ультразвук регулярно сочетают с давлением, теплом или тем и другим одновременно. Например, термообработка ультразвуком, сочетание обработки ультразвуком с теплом может синергетически улучшить сохранность фруктовых соков, сократив время обработки и сохранив общее качество обработанного сока. Действие термозвука при 400 Вт и 60 °С на сок сливы привело к повышенному снижению количества микробов, так как не было обнаружено бактерий, плесени и дрожжей [12], хотя при более высокой температуре обработки могут происходить потери фитохимических веществ. Обработка фруктовых соков ультразвуком предполагает повышение их качества, а также увеличение срока годности за счет уменьшения количества микроорганизмов, вызывающих порчу. Например, воздействие ультразвука приводит к увеличению общей антиоксидантной способности грейпфрутового сока, аскорбиновой кислоты, флавоноидов и флавонолов, а также общего количества фенолов. Кроме того, в результате действия ультразвука на яблочный сок происходит повышение общего содержания каротиноидов, вязкости, минералов, таких как Na, K и Ca, а также концентрации сахара и полифенольных соединений после обработки в течение 60 мин при 20 °С [34]. Точно так же для соков апельсина, лимона и лайма, моркови и шпината стерилизация ультразвуком позволила сохранить большую часть питательных веществ по сравнению с классической термической пастеризацией [35]. Исследователи установили значительное снижение цветности, а также пожелтение всех образцов сока, обработанных ультразвуком.

Таким образом, ультразвук представляет собой новую нетермическую технологию, которая имеет большой потенциал использования с минимальной обработкой в производстве фруктовых соков.

1.2. Обработка под высоким давлением

Обработка под высоким давлением (НРР) (также называемая высоким давлением (НР), высоким гидростатическим

давлением (ННР) или сверхвысоким давлением (УНР)) представляет собой новую и перспективную технологию нетермической пастеризации, использование которой неуклонно возрастает в пищевой промышленности с начала XXI в. Обработка под высоким давлением (ННР), или паскализация, – это один из быстро развивающихся методов обработки, используемых в технологическом процессе производства фруктовых соков, который основан на действии высокого давления в диапазоне от 100 до 1000 МПа на образец пищевого продукта [36]. Во время ННР водородные связи во фруктовых соках разрушаются, а ковалентные связи не затрагиваются, поскольку ННР – это нетермическая технология. Это указывает на то, что витамины не подвержены влиянию высокого давления и, таким образом, остаются нетронутыми, сохраняя питательные качества фруктовых соков. ННР вызывает чрезмерное давление на клеточные стенки микробов и таким образом приводит к необратимому повреждению микробной клетки, что приводит к снижению микробиологической обсемененности во фруктовых соках. Высокое давление также предотвращает ферментативную порчу, поскольку вызывает денатурацию ферментов. Одним из основных преимуществ ННР является его способность равномерно обрабатывать пищевую матрицу, что часто может быть проблематичным при проведении термической обработки. Несмотря на то, что существует различная чувствительность микробов к действию ННР, результаты показали, что в любом случае происходит снижение жизнеспособности микроорганизмов. Прокариоты более устойчивы к действию высокого давления по сравнению с эукариотами, в то время как эндоспоры более устойчивы и могут выдерживать чрезвычайно высокое давление до 1000 МПа [37].

ННР – это новая технология с огромным потенциалом в обеспечении стабильности фруктовых соков и напитков. Промышленные условия обработки технологией высокого давления – 600 МПа в течение 3 мин. Данная технология высокоэффективна для уничтожения патогенных микроорганизмов во фруктовых соках. Установлено, что ННР в значительной степени приводит к уменьшению количества патогенных микроорганизмов более чем на 5 логарифмических единиц, а именно *E. coli* 0157:H7, *S. enterica* и *L. monocytogenes*, в виноградном соке при умеренном давлении 400 МПа [13]. Кроме того, действие ННР 600 МПа при 20 °С в течение 5 мин показало повышенную способность дезактивировать ферменты 1,8 % РРО и 58 % РОД в неосветленных яблочных

соках, сохраняя при этом фитохимические вещества, присутствующие в соке [16]. Кроме того, ННР при 500 МПа в течение 5 мин не оказывала влияния на биоактивные соединения в соке асаи, поскольку сохранялось 40 % антоцианов по сравнению с термической пастеризацией при 85 °С в течение 1 мин [15], тогда как действие ННР в течение 15 мин способствовало сохранению ароматоактивных соединений, в основном спиртов (68,39 %) и альдегидов (29,21 %), в соке манго [17]. Кроме того, недавнее проведенное исследование, по оценке применения технологии ННР для купажированного морковно-апельсинового сока, проведенное учеными Pokhrel *et al.* показало результат снижения микробной нагрузки примерно на 5 логарифмических единиц *L. inptosia* при более мягких условиях обработки, то есть 300 МПа в течение 2 мин и 400 МПа в течение 1 мин, по сравнению с промышленными условиями обработки ННР [14]. Таким образом, технология высокого давления считается лучшей альтернативой термической обработке фруктовых соков. Следует отметить, что нами не установлены исследования, так как, скорее, они отсутствуют в области анализа действия ННР на инактивацию вирусов. Кроме того, следует отметить и недостаточную изученность действия технологии еще ННР на споры. Это области, которые требуют дальнейшего изучения. Обработка фруктовых соков методом ННР дает отличную возможность максимально сохранить пищевую ценность соковой продукции, а также снизить микробную нагрузку во фруктовых соках. С целью повышения эффективности ННР можно сочетать с традиционной термической обработкой путем обработки фруктовых соков при умеренных температурах [38].

1.3. Обработка импульсным светом

Импульсная световая обработка (PLP) – это технология нетермической обработки, в которой используются световые импульсы высокой интенсивности в течение короткого времени. Процесс обработки импульсным светом характеризует длины волн широкого диапазона, от ближнего инфракрасного (700–1100 нм), видимого (400–700 нм) и УФ (200–400 нм). PLP имеет большое преимущество, поскольку необходимая энергия получается за очень короткий промежуток времени и имеет низкие эксплуатационные расходы. Однако в большинстве опубликованных исследований используется дозировка энергии, превышающая рекомендованную FDA энергию, равную 12 Дж/см² [39]. Хотя импульсный свет не является термической обработкой, более длительное воздействие и время обработки

могут привести к повышению температуры, что приведет к термической инактивации микробов. В то время как технология PLP использует ультрафиолетовое, видимое и ближнее инфракрасное излучение, фактический антимикробный эффект обусловлен только первым из трех. Однако как видимый, так и инфракрасный диапазоны в своих пиках синергетически с УФ способствуют уничтожению микробов. Воздействие ультрафиолетового света на бактерии связано с его поглощением сопряженными двойными углерод-углеродными связями, присутствующими в нуклеиновых кислотах и белках, что вызывает изменения в ДНК. Наряду с этим клетки, обработанные импульсным светом, также демонстрируют разрыв клеточной стенки и сморщивание цитоплазмы наряду с разрывом внутренних органов из-за электропорации, что приводит к утечке содержимого клетки. Однако импульсный свет не так эффективен, как УФ-излучение, для индукции фотохимического воздействия на клетки. Компонент УФ-С импульсного света помогает изменить структуру ДНК за счет уменьшения сверхспирализации ДНК с последующей фрагментацией ДНК на отдельные нити, вызывающей гибель клеток. Существуют различные факторы, определяющие воздействие импульсного света на образцы обработанного пищевого продукта. К этим факторам относятся расстояние продукта от источника света, время обработки, объем взятой пробы, ориентация и конструкция камеры обработки, и эти факторы необходимо оптимизировать для улучшения сохранности продукта. Наряду с внешними факторами существуют некоторые внутренние факторы пищевого образца, влияющие на эффективность PLP. Эти факторы включают TSS, TA, мутность образца, pH и светопоглощение пищевого продукта.

Технология PLP обладает огромным потенциалом в улучшении сохранности фруктовых соков. Действие PLP при 30 кВ и 3000 импульсов было эффективно в снижении количества микроорганизмов, таких как *P. auruginosa*, за счет 7-логарифмического сокращения [19], в то время как PLP при 3 импульсах в секунду приводил к 4–5-кратному снижению *E. coli* в составе нескольких фруктовых соков, таких как яблочный сок, апельсиновый сок и ананасовый сок [20], а действие PLP при 2,4 кВ также привело к усилению 5-логарифмического сокращения микробов при применении 94 импульсов, ферментативной дезактивации PPO (50%) и POD (42%) при 187 импульсах, а также сохранению фитохимических веществ по сравне-

нию с термической обработкой ананасового сока. [18]. PLP обладает фототермическим эффектом, когда небольшие импульсы световой энергии воздействуют на фруктовые соки, микробы поглощают падающий свет и уничтожаются из-за повышения тепловой энергии. Кроме того, PLP эффективно дезактивирует ферменты, такие как PME и PPO, которые ответственны за помутнение и ферментативное потемнение фруктовых соков соответственно. Следовательно, технология PLP эффективна и имеет большой потенциал по применению в технологических процессах сокового производства [40].

1.4. Обработка импульсным электрическим полем

Обработка импульсным электрическим полем (PEF) является одной из новых нетермических технологий, используемых для пастеризации жидких пищевых продуктов, таких как фруктовые соки. PEF представляет собой комбинацию электрического поля и импульсов высокого напряжения (обычно 20–80 кВ см⁻¹), что значительно повышает летальность микробной нагрузки, присутствующей во фруктовых соках. В PEF факторы, влияющие на эффективность обработки, включают время обработки и силу электрического поля. Электромеханическая нестабильность возникает в клеточной мембране, когда микроб подвергается воздействию PEF. Из-за приложенного электрического поля высокого напряжения клеточная мембрана микроба разрушается с последующим высвобождением компонентов клетки, что приводит к гибели микроба. Хотя летальность PEF пока недостаточно изучена, существует несколько научных предположений, указывающих на способность PEF уничтожать микроорганизмы [41].

Инактивация микробов происходит за счет трансмембранного градиента, называемого трансмембранным потенциалом (ТМП); эта теория была дана Сейлом и Гамильтоном. Другая теория Цимермана, называемая теорией разрыва диэлектрика, рассматривает клеточную мембрану как диэлектрический материал. Пищевые продукты обычно имеют диэлектрическую проницаемость около 60–80, и эта разница в диэлектрических постоянных вызывает накопление зарядов, в то время как ТМП увеличивается, создавая небольшие поры в клеточной мембране. По мере увеличения напряжения образуются более крупные поры и происходят необратимые изменения, приводящие к инактивации микробных клеток, присутствующих во фруктовых соках. Кроме того, максимальная эффективность PEF может быть достигнута с помощью импульсов прямоугольной формы. Также

доказано, что PEF эффективен против ферментов. Было исследовано, что ферменты, такие как PPO и липоксигеназа, значительно зависят от обработки PEF. Влияние PEF на биологически активные соединения незначительно, и незначительные изменения наблюдались в образцах обработанных и необработанных пищевых продуктов. Активность PPO и пероксидаз была снижена более 70%. Тем не менее PEF не оказывает большого влияния на содержание витаминов и pH продуктов, обработанных PEF [42].

Авторы исследования R.M. Aadil, X.A. Zeng, A. Ali и другие получили результаты, которые свидетельствуют об эффективности PEF с частотой импульсов 1 кГц в течение 600 μ s в повышении общего качества продукта, включая уменьшение микробов, функциональных и физико-химических свойств грейпфрутового сока. Кроме того, высокая интенсивность PEF с напряженностью поля 35 кВ см⁻¹ и шириной импульса 4 μ s была лучше, чем термическая пастеризация при 90 °C в течение примерно одной минуты.

В исследовании ученых Elez-Martínez & Martín-Belloso получены результаты более высокого сохранения витамина C (90,8%) при использовании данной технологии обработки при переработке виноградного сока. Тем не менее PEF при высоком напряжении около 350 В также может привести к небольшим изменениям органолептических качеств обработанного сока, как установила группа авторов Zhu *et al*, в котором обработка сока черники привела к незначительным изменениям летучих соединений, вкуса и аромата [24]. Кроме того, PEF является превосходной технологией обработки с точки зрения сохранения фруктового сока благодаря его способности снижать ферментативную активность. Ученые Schilling *et al* сообщили о полной дезактивации ферментов PPO и POD, когда применение технологии PEF сочетается с предварительной термической обработкой яблочного сока при 60 °C [23]. Таким образом, PEF служит потенциальной технологией минимальной обработки со значительным потенциалом для увеличения срока годности фруктовых соков.

1.5. Обработка озоном

Озон представляет собой газ голубоватого цвета, который нестабилен при нормальной атмосферной температуре и давлении. Это один из сильнейших окислителей, который подходит для использования в качестве дезинфицирующего средства. Окислительный потенциал озона приводит к его способности диффундировать через биологические мембраны, поэтому озон обладает

бактерицидными и вирулицидными свойствами. При контакте с аминокислотами озон денатурирует ДНК и белки микроорганизмов, что приводит к их гибели. Механизм летального действия озона включает его воздействие на гликопротеины и гликолипиды клеточной мембраны, вызывая лизис клеток и утечку внутренних компонентов клеток. Озон также оказывает некоторое влияние на органические вещества пищевого продукта, при обработке уровни олигосахаридов снижались. Это может быть связано с разложением олигосахаридов с более высокой степенью полимеризации на более мелкие простые сахара. Озон также оказывает влияние на фенолы, было установлено, что он снижает содержание фенолов уже после 60 с обработки. Высокий окислительный потенциал озона также увеличивает его эффективность против ферментов, таких как PPO и POD. Было установлено, что обработка яблочного сока концентрацией озона 12 мг л⁻¹ в течение 30 мин показала снижение содержания патулинового микотоксина на 75,36%. Озон также эффективен против других микотоксинов, включая афлатоксин и циклопиазоновую кислоту, поскольку деградация этих микотоксинов приводит к химическим модификациям, вызванным озонированием. Благоприятное влияние озонирования на свойства пищевых продуктов, поскольку удаляет нежелательный запах, цвет и вкус. Однако это свойство озона также может приводить к интенсивному окислению некоторых образцов, что приводит к окислительной порче, а также нежелательному обесцвечиванию [29, 43].

Группа ученых, S. Sroy, J.F. Fundo, F.A. Miller, T.R.S. Brandão & C.L.M. Silva, установили, что обработка озоном с дозировкой 7,7 г/л⁻¹ в течение 10 мин способствует сохранению качественных параметров сока дыни в течение периода хранения, а также сохранению на 68% витамина C [27]. Кроме того, озонирование оказалось эффективным методом с точки зрения снижения концентрации *Listeria innocua*, присутствующей в соке, за счет уменьшения количества микробов более чем на 5 логарифмов. В низких дозах от 0,06 до 2,48 г/л озонирование сохраняет физико-химические свойства персикового сока в течение короткого времени обработки от 1 до 5 мин [30]. Однако установлено, что озонирование в высокой дозе 7,8% мас./мас. в течение 10 минут ухудшает цвет и снижает биодоступность антоцианов (98,2%) и аскорбиновой кислоты (85,8%) в клубничном соке [31]. Следовательно, дозировка озона и время обработки являются важными параметрами, которые необходи-

мо учитывать при обработке фруктовых соков озоном. Тем не менее озонирование является важной нетермической технологией, которую следует учитывать при обработке фруктовых соков для повышения их стабильности при хранении. Подробный обзор использования технологии озонирования в пищевой промышленности нами опубликован в 2022 г. [44].

2. Аспекты устойчивости технологий нетермической обработки

Общеизвестно, что в процессе традиционной термической технологии обработки в производстве фруктовых соков используется огромное количество энергии и ресурсов, включая воду, при этом образуются технологические отходы, которые требуют обработки и дополнительных затрат и потребления энергии. В свете современных тенденций на устойчивые технологии преимущества нетермических методов заключаются в снижении воздействия результатов обработки на окружающую среду, а также в значительном снижении энергоёмкости процесса. Однако для более конкретного обоснования преимуществ необходимы дополнительные исследования, чтобы проиллюстрировать все аспекты устойчивости каждой технологии нетермической обработки [45, 46]. Нетепловые технологии являются экологически чистыми и устойчивыми по своей природе, поскольку они потребляют меньше ресурсов и энергии, образуют меньше отходов, тем самым сокращая свой углеродный след в окружающей среде. Общеизвестно, что остаточный после обработки озон легко разлагается до кислорода и не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. Кроме того, в результате научных исследований установлено, что технология PEF является энергоэффективной, поскольку при обработке PEF потребляется примерно на 10% меньше электроэнергии, также использование технологии PLP требует меньше энергии за очень короткий промежуток времени, что снижает эксплуатационные расходы [47]. Использование метода НРР является эффективной технологией обработки с меньшим негативным воздействием на окружающую среду, благодаря сравнительно низкому потреблению энергии и возможности повторного использования рабочей жидкости, а также отсутствию необходимости внесения в пищевые продукты консервантов [48]. Проведены исследования по сравнению действия НРР с термической обработкой с целью оценки устойчивости процесса переработки апельсинового сока путем объединения стоимости полного цикла (первоначальные инвестиции, экс-

плуатационные расходы, затраты на техническое обслуживание и стоимость в конце срока службы) и оценки жизненного цикла (воздействие на окружающую среду). Результаты показали, что НРР более безопасен для окружающей среды, но является более дорогостоящим, чем термическая обработка. Ультразвук – еще одна новая «зеленая» технология, экономичная и безопасная в использовании, поскольку она не требует токсичных химических веществ и не образует их в процессе производства [49]. В целом можно сделать вывод, что методы нетермической обработки оказывают менее агрессивное действие на состав продукта, чем термическая обработка, поэтому фруктовые соки сохраняют свои органолептические, питательные и функциональные свойства после обработки.

3. Возможности и ограничения в использовании

Проведенные научные исследования подтверждают, что технологии нетермической обработки улучшают сохранность фруктовых соков, тем самым обеспечивая потребителей безопасными продуктами. Обработка НРР является одной из инновационных технологий, которая используется в некоторых странах в условиях промышленного производства и переработки фруктовых соков. Однако обзор научных исследований, касающихся нетермической обработки, показывает, что изучаемые методы и их испытания проводятся все еще либо в лабораторных условиях, либо на пилотных установках. Следовательно, необходимо внедрять данные методы и технологии нетермической обработки в промышленное производство, проводить дальнейший подбор и стандартизацию условий обработки, поскольку эти методы более эффективны и экологичны по сравнению с традиционными методами термической обработки. Кроме того, при переработке фруктовых соков образуются отходы, такие как кожура, кожица, жмых, сточные воды и другие вещества. В настоящее время более актуальной задачей является переработка отходов и эффективное использование продуктов переработки, чем их обычная утилизация. Фруктовые отходы являются богатым источником ценных биологически активных веществ и, следовательно, могут быть использованы в процессе дальнейшего использования по созданию продуктов функционального и пробиотического назначения. Однако нетепловые технологии более дорогостоящие в использовании по сравнению с тепловыми технологиями, что ограничивает их внедрение в промышленное производство. Конечный

потребитель на сегодняшний день также недостаточно осведомлен о преимуществах пищевых продуктов, не подвергающихся термической обработке, что также является препятствием. Тем не менее преимущество в сохранности пищевой ценности фруктовых соков за счет нетермической обработки превышает высокую стоимость необходимых затрат на внедрение и использование. Следует изучить модификации конструкции и управление технологическим процессом, чтобы снизить стоимость и достичь экономической целесообразности за счет совершенствования и оптимизации технологического процесса. Таким образом, новые нетермические технологии обработки обладают огромным потенциалом для обеспечения устойчивости, повышения качества и безопасности пищевых продуктов.

Рынок фруктовых соков постоянно растет, так как соки являются важным продуктом питания, обладающим за счет содержания биологически активных соединений высокой пищевой ценностью и способствующим профилактике и лечению различных заболеваний. Потребители делают выбор в пользу здорового образа жизни и диеты, поскольку продукты питания играют важную роль как в улучшении, так и в ухудшении общего состояния здоровья потребителей. Консервирование фруктовых соков всегда осуществлялось с помощью тепловых методов. Хотя термический процесс эффективен для инактивации микробов, а также помогает воздействовать на ферменты, которые могут ухудшить качество сока, это приводит к потере многих питательных и функциональных веществ. Для обеспечения безопасности пищевых продуктов и удовлетворения спроса потребителей на качественные пищевые продукты, органические и незначительно обработанные с максимальной пищевой ценностью применение технологии нетермической обработки становится очень важным. Инновационные нетермические технологии способствуют снижению микробиологической обсемененности в соках при переработке, сохраняя при этом многие биологически активные вещества, чего не удается достичь традиционными методами обработки. Эти технологии по отдельности и в сочетании с другими нетермическими технологиями помогают увеличить срок годности фруктовых соков с минимальной обработкой. Большинство этих нетермических обработок не связаны с высокими температурами, что позволяет сохранить термолабильные компоненты, поэтому они являются эффективной альтернативой с точки зрения производства полезных и микробиологически безопас-

ных фруктовых соков. В этом направлении было проведено большое количество научных исследований, но есть возможности для гораздо большего. Кроме того, действие нетермических технологий обработки нуждается в дальнейшем изучении с точки зрения влияния на окружающую среду, а также для снижения себестоимости необходимо проводить исследования и испытания по модификации конструкций и оборудования.

Список литературы

1. Global fruit juice market report and forecast 2021–2026. Retrieved May.3.2022. URL: <https://www.google.com/amp/s/www.expertmarketresearch.com/reports/fruit-juice-market> (date of access: 28.09.2022).
2. Gomes I.A., Venâncio A., Lima J.P. & Freitas-Silva O. Fruit-based non-dairy beverage: A new approach for probiotics. *Advances in Biological Chemistry*. 2021. Vol. 11. P. 302–330.
3. Mushtaq M. Extraction of fruit juice: An overview. In: (edited by G. Rajauria & B.K. Tiwari) *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*. 2018. P. 131–159. USA: Elsevier Inc. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00008-4.
4. Бурак Л.Ч. Современные методы консервирования, применяемые в пищевой промышленности // *The Scientific Heritage*. 2022. № 89 (89). С. 106–124. DOI: 10.5281/zenodo.6575888.
5. Hameed F., Ayoub A. & Gupta N. Novel food processing technologies: An overview. *IJCS*. 2018. Vol. 6 (6). P. 770–776.
6. Putnik P., Pavlič B., Šojić B. et al. Innovative hurdle technologies for the preservation of functional fruit juices. *Food*. 2020. Vol. 9. P. 699.
7. Dhalalaria R., Verma R., Kumar D. Bioactive compounds of edible fruits with their anti-aging properties: A comprehensive review to prolong human life. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. P. 1–38.
8. Chacha J.S., Zhang L., Ofoedu C.E. Revisiting non-thermal food processing and preservation methods – action mechanisms, pros and cons: A technological update (2016–2021). *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 1430.
9. Cassani L., Tomadoni B., del Rosario Moreira M. Green ultrasound-assisted processing for extending the shelf-life of prebiotic-rich strawberry juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020. Vol. 100. P. 5518–5526.
10. Iqbal A., Murtaza A., Marszałek K. Inactivation and structural changes of polyphenol oxidase in quince (*Cydonia oblonga* Miller) juice subjected to ultrasonic treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020. Vol. 100. P. 2065–2073.
11. Fonteles T.V., Costa M.G.M., de Jesus A.L.T., de Miranda M.R.A., Fernandes F.A.N., Rodrigues S. Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: Effects on quality parameters. *Food Research International*. 2012. Vol. 48. P. 41–48.
12. Oladunjoye A.O., Adeboyejo F.O., Okekunbi T.A., Aderibigbe O.R. Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (*Spondias mombin* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. Vol. 70. P. 105316.
13. Petrus R., Churey J., Worobo R. Searching for high pressure processing parameters for *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* reduction in concord grape juice. *British Food Journal*. 2020. Vol. 122. P. 170–180.
14. Pokhrel P.R., Boulet C., Yildiz S. Effect of high hydrostatic pressure on microbial inactivation and quality changes in carrot-orange juice blends at varying pH. *LWT*. 2022. Vol. 159. P. 113219.
15. da Silveira T.F.F., Cristianini M., Kuhnle G.G., Ribeiro A.B., Filho J.T., Godoy H.T. Anthocyanins, non-anthocyanin phenolics, tocopherols and antioxidant capacity of açai juice (*Euterpe oleracea*) as affected by high pressure processing and thermal pasteurization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019. Vol. 55. P. 88–96.

16. Marszałek K., Szczepańska J., Starzonek S. Enzyme inactivation and evaluation of physicochemical properties, sugar and phenolic profile changes in cloudy apple juices after high pressure processing, and subsequent refrigerated storage. *Journal of Food Process Engineering*. 2019. Vol. 42. e13034.
17. Zhang W., Dong P., Lao F., Liu J., Liao X., Wu J. Characterization of the major aroma-active compounds in Keitt mango juice: Comparison among fresh, pasteurization and high hydrostatic pressure processing juices. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 289. P. 215–222.
18. Vollmer K., Chakraborty S., Bhalerao P.P., Carle R., Frank J., Steingass C.B. Effect of pulsed light treatment on natural microbiota, enzyme activity, and phytochemical composition of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) juice. *Food and Bioprocess Technology*. 2020. Vol. 13. P. 1095–1109.
19. Hwang H.J., Cheigh C.I., Chung M.S. Relationship between optical properties of beverages and microbial inactivation by intense pulsed light. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015. Vol. 31. P. 91–96.
20. Preetha P., Pandiselvam R., Varadharaju N., Kennedy Z.J., Balakrishnan M., Kothakota A. Effect of pulsed light treatment on inactivation kinetics of *Escherichia coli* (MTCC 433) in fruit juices. *Food Control*. 2021. Vol. 121. P. 107547.
21. Caminiti I.M., Palgan I., Noci F. et al. The effect of pulsed electric fields (PEF) in combination with high intensity light pulses (HILP) on *Escherichia coli* inactivation and quality attributes in apple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2011. Vol. 12. P. 118–123.
22. Lee H., Choi S., Kim E., Kim Y.N., Lee J., Lee D.U. Effects of pulsed electric field and thermal treatments on microbial reduction, volatile composition, and sensory properties of orange juice, and their characterization by a principal component analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11. P. 1–11.
23. Schilling S., Schmid S., Jäger H. Comparative study of pulsed electric field and thermal processing of apple juice with particular consideration of juice quality and enzyme deactivation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. P. 4545–4554.
24. Zhu N., Zhu Y. Evaluation of microbial, physicochemical parameters and flavor of blueberry juice after microchip-pulsed electric field. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 274. P. 146–155.
25. Aadil R.M., Zeng X.A., Ali A. Influence of different pulsed electric field strengths on the quality of the grapefruit juice. *International Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 50. P. 2290–2296.
26. Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chemistry*. 2007. Vol. 102. P. 201–209.
27. Sroy S., Fundo J.F., Miller F.A., Brandão T.R.S., Silva C.L.M. Impact of ozone processing on microbiological, physicochemical, and bioactive characteristics of refrigerated stored Cantaloupe melon juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. Vol. 43. e14276.
28. Fundo J.F., Miller F.A., Tremarin A., Garcia E., Brandão T.R.S., Silva, C.L.M. Quality assessment of Cantaloupe melon juice under ozone processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018. Vol. 47. P. 461–466.
29. Diao E., Wang J., Li X., Wang X., Song H., Gao D. Effects of ozone processing on patulin, phenolic compounds and organic acids in apple juice. *Journal of Food Science and Technology*. 2019. Vol. 56. P. 957–965.
30. Jaramillo-Sánchez G.M., Garcia Loreda A.B., Gómez P.L., Alzamora S.M. Ozone processing of peach juice: Impact on physicochemical parameters, color, and viscosity. *Ozone: Science and Engineering*. 2018. Vol. 40. P. 305–312.
31. Tiwari B.K., O'Donnell C.P., Patras A., Brunton N., Cullen P.J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*. 2009. Vol. 113. P. 1119–1126.
32. Yildiz S., Pokhrel P.R., Unluturk S., Barbosa-Cánovas G.V. Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. *Food Research International*. 2021. Vol. 140. P. 110040.
33. Başlar M., Biranger Yildirim H., Tekin Z.H., Ertugay M.F. Ultrasonic applications for juice making. In: *Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry*. 2015. P. 1–22. Singapore: Springer.
34. Paniwnyk L. Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Ultrason. Sonochem.* 2017. Vol. 38. P. 794–806.
35. Khandpur P., Gogate P.R. Effect of novel ultrasound based processing on the nutrition quality of different fruit and vegetable juices. *Ultrason. Sonochem.* 2015. Vol. 27. P. 125–136.
36. Jayawardena E., Vanniarachchi M., Wansapala J. Review on non-thermal technologies for the preservation of fruit juices. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. 2019. Vol. 9. P. 365–372. DOI: 10.17265/2161-6264/2019.06.001.
37. Considine K.M., Kelly A.L., Fitzgerald G.F., Hill C., Sleator R.D. High-pressure processing Effects on microbial food safety and food quality. *FEMS Microbiology Letters*. 2008. Vol. 281. P. 1–9.
38. Bermúdez-Aguirre D., Corradini M.G., Candoğan K., Barbosa-Cánovas G.V. High pressure processing in combination with high temperature and other preservation factors. In: (edited by vol. M. Balasubramaniam, G.V. Barbosa-Cánovas, H.L.M. Lelieveld). *Food Engineering Series*. 2018. P. 193–215. NY: Springer Nature. DOI: 10.1007/978-1-4939-3234-4_11.
39. Rowan N.J. Pulsed light as an emerging technology to cause disruption for food and adjacent industries – Quo vadis? *Trends in Food Science and Technology*. 2019. Vol. 88. P. 316–332.
40. Mandal R., Mohammadi X., Wiktor A., Singh A., Singh A.P. Applications of pulsed light decontamination technology in food processing: An overview. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020. Vol. 10. P. 3606.
41. Fellows P. (Peter). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. UK: Woodhead Pub. 2002.
42. Koubaa M., Barba F.J., Bursać Kovačević D. Pulsed electric field processing of fruit juices. *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*. 2018. Vol. 43. P. 437–449. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00022-9.
43. Brodowska A.J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018. Vol. 58. P. 2176–2201.
44. Бурак Л.Ч. Использование технологии озонирования в пищевой промышленности // *Sciences of Europe*. 2022. No. 98 (98). P. 85–100. DOI: 10.5281/zenodo.6973824. EDN IORPDE.
45. Clairand J.M., Briceno-Leon M., Escrivá-Escrivá G., Pantaleo A.M. Review of energy efficiency technologies in the food industry: Trends, barriers, and opportunities. In: (edited by M. Mourshed) *IEEE Access*. 2020. P. 48015–48029. Vol. 8. USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
46. Chakka A.K., Sriraksha M.S., Ravishankar C.N. Sustainability of emerging green non-thermal technologies in the food industry with food safety perspective: A review. *LWT*. 2021. Vol. 151. P. 112140.
47. Bhavya M.L., Umesh Hebbar H. Pulsed light processing of foods for microbial safety. *Food Quality and Safety*. 2017. Vol. 1. P. 187–201.
48. Picart-Palmade L., Cunault C., Chevalier-Lucia D., Belleville M.P., Marchesseau S. Potentialities and limits of some non-thermal technologies to improve sustainability of food processing. *Frontiers in Nutrition*. 2019. Vol. 5. P. 130.
49. Pallarés N., Berrada H., Ferrer E. Ultrasound processing: A sustainable alternative. In: (edited by J.M. Lorenzo, P.E.S. Munekata, F.J. Barba) *Sustainable Production Technology in Food*. 2021. P. 155–164. USA: Academic Press. DOI: 10.1016/b978-0-12-821233-2.00006-x.

СТАТЬЯ

УДК 615:614.21:579.63

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ МНОГОПРОФИЛЬНОГО СТАЦИОНАРА****Богданова О.Ю., Черных Т.Ф., Цветкова И.А.***ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет»
Министерства здравоохранения РФ, Санкт-Петербург, e-mail: bogdiolg@yandex.ru*

Объективная оценка санитарно-бактериологического состояния внутренней среды учреждений здравоохранения в настоящее время является одной из важнейших задач при проведении комплекса профилактических мероприятий против распространения инфекций, сопряженных с оказанием медицинской помощи (ИСМП). Контаминация внутрибольничной среды избыточным количеством микроорганизмов, особенно устойчивых к лекарственным препаратам и дезинфицирующим средствам (ДС), может привести к распространению инфекций как среди пациентов, так и среди медицинского персонала, обуславливая внутрибольничные инфекции различных видов. Воздух, являясь, с одной стороны, всепроникающей субстанцией, с другой стороны, оказывается средой временного сохранения микроорганизмов-контаминантов, может играть роль источника ИСМП. В настоящей работе проведены исследования качественного и количественного состава микроорганизмов воздуха в различных помещениях медицинских организаций (стационары) по некоторым микробиологическим показателям, в результате чего выявлены наиболее часто встречающиеся и определяющиеся в воздухе виды микроорганизмов, колонизирующие воздушную среду и являющиеся потенциально опасными инфекционными агентами. В ходе проведенных исследований были выявлены различия в уровне контаминации воздуха помещений стационара в зависимости от их функционального назначения. Среди обнаруженных микроорганизмов выявлены некоторые условно-патогенные микроорганизмы, определены очаги распространения опасных контаминантов – поверхности, подвергнутые биодеструкции – отделочные материалы палат пациентов, ординаторских комнат, а также система вентиляции воздуха больничной среды. Большинство выявленных бактерий принадлежали к группе грамположительных кокков рода *Staphylococcus*, среди грибов преобладали дрожжеподобные и плесневые грибы. Обнаруженные контаминанты классифицируются как микроорганизмы III и IV групп патогенности и обладают инфекционным потенциалом. Адсорбция на слизистых оболочках человека таких микроорганизмов может привести к развитию аспергиллезов, стафилококковых инфекций, кандидозов и других опасных заболеваний. Полученные в исследовании данные о содержании микроорганизмов в воздухе помещений стационара свидетельствуют о важности разработки новых подходов к проведению микробиологического мониторинга внутрибольничной среды и контролю качества проведения противозидемиологических мероприятий, что в целом будет способствовать профилактике ИСМП.

Ключевые слова: микробиологический мониторинг, микробиота воздуха, медицинские организации, инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи

**MICROBIOLOGICAL EXAMINATION OF THE AIR ENVIRONMENT
OF A MULTIDISCIPLINARY HOSPITAL****Bogdanova O.Yu., Chernykh T.F., Tsvetkova I.A.***Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint Petersburg,
e-mail: bogdiolg@yandex.ru*

An objective assessment of the sanitary and bacteriological state of the internal environment of healthcare institutions is currently one of the most important tasks in carrying out a set of preventive measures against the spread of infections associated with the provision of medical care (ISMP). Contamination of the hospital environment with an excessive number of microorganisms, especially resistant to drugs and disinfectants (DS), can lead to the spread of infections among both patients and medical personnel, causing nosocomial infections of various types. Air, being on the one hand an all-pervading substance, on the other hand turns out to be a medium of temporary preservation of microorganisms-contaminants, can play the role of a source of ISMP. In this work, studies of the qualitative and quantitative composition of air microorganisms in various rooms of medical organizations (hospitals) have been carried out according to some microbiological indicators, as a result of which the most common and determined types of microorganisms in the air that colonize the air environment and are potentially dangerous infectious agents have been identified. In the course of the conducted studies, differences in the level of air contamination of hospital premises were revealed, depending on their functional purpose. Among the detected microorganisms, some conditionally pathogenic microorganisms were identified, foci of the spread of dangerous contaminants were identified – surfaces subjected to biodegradation – finishing materials of patients' wards, residents' rooms, as well as the air ventilation system of the hospital environment. Most of the identified bacteria belonged to the group of gram-positive cocci of the genus *Staphylococcus*, yeast-like and mold-like fungi predominated among the fungi. The detected contaminants are classified as pathogenicity groups III and IV microorganisms and have an infectious potential. Adsorption of such microorganisms on human mucous membranes can lead to the development of aspergillosis, staphylococcal infections, candidiasis and other dangerous diseases. The data obtained in the study on the content of microorganisms in the air of the hospital premises indicates the importance of developing new approaches to conducting microbiological monitoring of the hospital environment and quality control of anti-epidemiological measures, which in general will contribute to the prevention of ISMP.

Keywords: microbiological monitoring, air microbiota, medical organizations, infections related to medical care

Объективная оценка санитарно-бактериологического состояния внутренней среды учреждений здравоохранения в настоящее время является одной из важнейших задач при проведении комплекса специфических и неспецифических профилактических и противоэпидемических мероприятий [1].

Проблему инфекционной безопасности в медицинских учреждениях значительно обострила пандемия новой коронавирусной инфекции 2019–2022 гг.

Необходимо постоянное соблюдение требований по сохранению инфекционной биобезопасности в медицинских организациях. Современная эпидемиологическая ситуация полностью изменила подходы к выбору дезинфицирующих средств (ДС) и дезинфекционного оборудования.

В обеспечении инфекционной безопасности больничной среды дезинфекция поверхностей и воздушной среды крайне важна. Организация мониторинга безопасности и правильно организованный менеджмент дезинфекционных мероприятий в ЛПО – это приоритетная задача администрации и персонала. Основная цель этих мероприятий – предупреждение распространения ИСМП среди пациентов и персонала.

Микроорганизмы – это потенциальная угроза здоровью человека и благополучию его среды обитания не только в естественной среде, но и в искусственно созданной среде внутри помещений. Штаммы бактерий и грибов в процессе реализации эволюционно приобретенного ими механизма эпидемиологической передачи могут находиться на объектах внешней среды, сохранять там жизнеспособность, а при благоприятных условиях размножаться и накапливаться. Микробное распространение и накопление в больничной среде способно привести к пагубным последствиям – инфицированию пациентов, персонала, развитию и распространению ИСМП [2, 3].

В настоящее время оценка уровня микробного загрязнения воздуха в местах, подверженных высокому риску распространения инфекций, считается основным шагом на пути к профилактике ИСМП [3, 4]. Несмотря на многочисленные исследования этой группы инфекций, проблемы контаминации больничной среды существуют, они требуют решений, связанных с отработкой методологии, четкого алгоритма мониторинга, выверенной интерпретации данных и нормирования максимально допустимых уровней микробной контаминации. В этой связи работы в направлении санитарно-бактериологического мониторинга внутрибольничной среды крайне актуальны.

Фундаментальной частью общего мониторинга внутрибольничной среды является микробиологический контроль контаминации воздуха. Для подсчета микробов в воздухе используется много различных методов, которые можно разделить на следующие группы: определение количества колониеобразующих единиц на кубический метр воздуха (КОЕ/м³), количество КОЕ на агаровых пластинах, измерение химического компонента микробных клеток на кубический метр воздуха, подсчет клеток под микроскопом.

Сегодня признанным эффективным средством количественного определения микробов, находящихся в воздухе, является подсчет КОЕ. Количество КОЕ является наиболее важным параметром, поскольку оно измеряет живые микроорганизмы, которые способны к активной жизнедеятельности и размножению. Пробы воздуха могут быть собраны двумя способами: активными пробоотборниками воздуха или пассивным отбором проб воздуха за счет седиментации клеток и спор микроорганизмов на поверхность питательной среды. Оба метода широко используются, однако аспирационный метод с помощью активного пробоотборника является количественно более точным.

Среди нормируемых показателей микробиологического мониторинга воздуха установлены следующие показатели: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАнМ) или общее микробное число (ОМЧ), наличие клеток и спор грибов, а также в некоторых случаях, чаще по нормативам, установленным внутренним документом учреждения – наличие спорообразующих бактерий. Для ЛПО среди ненормируемых показателей актуальным критерием благополучия среды и качества проводимой дезинфекции следует считать отсутствие в воздухе бактерий рода *Staphylococcus*, которые в большинстве своем являются нормобиотой кожи и дыхательных путей человека, однако остаются опасными условно-патогенными бактериями, способными обусловить различные инфекции.

Цель исследования заключалась в изучении качественного и количественного микробного состава воздуха внутренней среды лечебно-профилактических медицинских организаций типа многопрофильных стационаров.

Материалы и методы исследования

Проведено микробиологическое исследование воздуха в различных помещениях медицинских организаций по нормируемым и ненормируемым микробиологическим показателям в рамках диссертационной работы. Определен качественный

состав микробов воздуха внутрибольничной среды, отмечены лидирующие виды микроорганизмов.

Для достижения поставленных целей на территории г. Санкт-Петербурга был исследован воздух в помещениях лечебно-профилактических организаций (ЛПО). Всего было исследовано 985 проб.

Пробы воздуха отбирали в различных помещениях стационаров. Использовали наиболее точный в количественном отношении аспирационный метод с помощью пробоотборного устройства ПУ-1Б, части которого перед отбором проб обрабатывали 70% этилового спирта. Отбор проб проводили в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.2942-11 «Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в ЛПО» и вели в течение рабочего дня. Для анализа использовали чашки Петри со стерильными питательными средами – мясопептонным агаром, Сабуро и стафилококковым агаром. Чашки с мясопептонным агаром и стафилококковым агаром для определения бактерий инкубировали при температуре $35 \pm 2,5$ °C в течение 24 ч, чашки с агаром Сабуро для определения микромицетов – при температуре $20 \pm 2,5$ °C в течение 48 ч.

Общее микробное число (ОМЧ) воздуха рабочей зоны определялось в помещениях палат пациентов, ординаторских комнат, сестринских постов, помещений лабораторий и процедурных кабинетов отделений. Культивирование и подсчет выросших колоний микроорганизмов проводились стандартными методами. Колонии микроорганизмов, выросшие на поверхности питательных сред, микроскопировали. При обнаружении характерных для стафилококков колоний их

подвергали дальнейшему культивированию на дифференциально-диагностических питательных средах и окончательной идентификации выделенных чистых культур до вида с помощью определения биохимических свойств. Непатогенные микробные формы объединяли под показателем НПМФ. Обработка результатов осуществлена с использованием программ Microsoft Excel 2010.

Результаты исследования и их обсуждение

В качественной структуре бактериального содержания в воздухе лечебных помещений доминировали представители рода стафилококков, являющиеся постоянными обитателями слизистых оболочек и кожных покровов человека [4, 5]. Наиболее распространенными среди них были бактерии видов *Staphylococcus epidermidis*, их доля достигала $8,6 \pm 4,5\%$. На втором месте по распространенности были *Staphylococcus haemolyticus* $3,1 \pm 6,2\%$. Несколько реже встречались бактерии рода *Staphylococcus saprophyticus* (в $1,3 \pm 4,8\%$ случаев) и *Staphylococcus aureus* (в $1,8 \pm 3,3\%$ случаев) (рис. 1). Данные показатели соотносятся с данными, полученными в более ранних исследованиях, проведенных в воздухе ЛПО других городов РФ [6].

Эпидермальные стафилококки являются обитателями кожи большинства людей, их содержание и локализация в данном биотопе малоизменяемы, данные бактерии обнаруживаются в смывах кожи человека независимо от внешних факторов, составляя достаточно устойчивый симбиотический консорциум. В этой связи эпидермальные стафилококки постоянно оказываются во внешней среде, разносятся потоками воздуха, оседая на поверхностях.

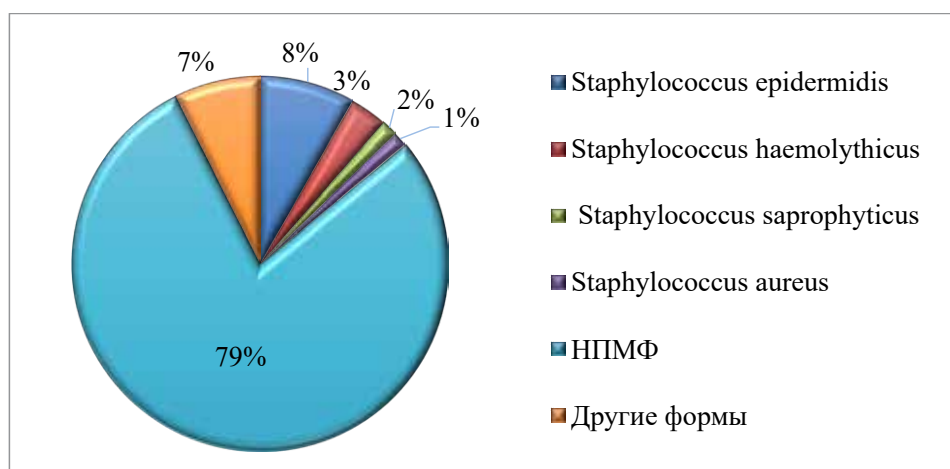


Рис. 1. Содержание стафилококков в образцах проб воздуха помещений стационара ($n = 524$)

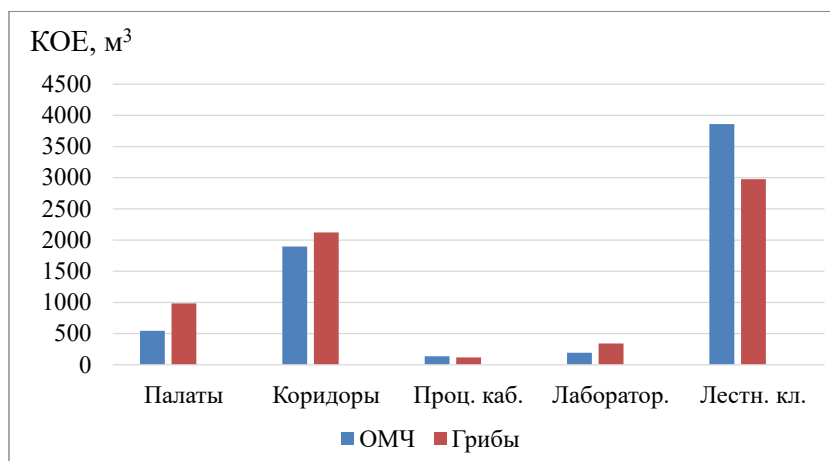


Рис. 2. Содержание микроорганизмов (бактерии, дрожжевые и плесневые грибы) в воздухе помещений многопрофильного стационара

Общее содержание бактерий в воздушной среде помещений колебалось в пределах от 95 КОЕ/м³ (в процедурных кабинетах и лаборатории) до 1005 КОЕ/м³ (в палатах).

Сапрофитные стафилококки, как и эпидермальные, являются нормобиотой кожи человека, они оказываются в воздухе и в дальнейшем оседают на поверхности именно из этого источника. Тем самым отмечено, что наиболее значимыми контаминантами среды стационара являются нормальные представители кожи персонала, пациентов и посетителей. Основной мерой профилактики против данного вида контаминации следует считать ношение специальной санитарной одежды, частые влажные и дезинфицирующие обрабатывающие мероприятия в помещениях стационара.

Наличие определенной доли условно-патогенных стафилококков *S. haemolyticus* и *S. aureus* свидетельствует о контаминации среды представителями биоты определенных лиц, которые могут иметь или не иметь заболеваний, обусловленных этими бактериями. В основном эти виды распространяются в среде от кожи и дыхательной системы бактерионосителей [5]. Исходя из этого, основной мерой предупреждения попадания условно-патогенных стафилококков в среду стационара является ношение масок, соблюдение масочного режима для посетителей, применение дезинфектантов, к которым у этих видов бактерий нет устойчивости, и частая ротация ДС.

Основную долю 79% составляли НПМФ, однако данный результат свидетельствует о недостаточности наблюдений за микробиологической чистотой помещений.

Содержание плесневых грибов в воздухе помещений исследуемых лечебных

организаций показало относительно высокие результаты. Количество клеток и жизнеспособных спор микромицетов в воздухе палат для пациентов колебалось от 100 до 2500 КОЕ/м³. В помещениях другого функционального назначения (процедурный кабинет, лаборатория) оно было несколько меньшим – от 20 до 150 КОЕ/м³ (рис. 2), что в целом объясняется более тщательной и частой дезинфекцией поверхностей в данных помещениях.

Наибольшим содержанием микромицетов в воздухе отличались помещения, где основным источником поступления грибных спор в воздушную среду является контаминированный отделочный материал поверхностей стен и потолков (коридоры, лестничные клетки, подсобные помещения). Значительное количество спор в воздухе может быть связано также с повышенной влажностью воздуха в помещении и конденсированием влаги на поверхности потолка, стен, мебели. Также данное количество спор микромицетов следует объяснить некачественной дезинфекцией и возможным загрязнением вентиляционной системы.

Контаминация плесневыми грибами в палатах без биоповреждений составляет в среднем 500 КОЕ/м³, что можно считать умеренным результатом.

Обнаруженные плесневые грибы были представлены родами *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, количественно преобладали микромицеты тех же родов (рис. 3). Так, доля в посевах грибов рода *Cladosporium* достигала 23%, *Aspergillus* составили порядка 8% и грибы рода *Penicillium* составили 4%. Эти результаты также сходны с проведенными ранее исследованиями [6].

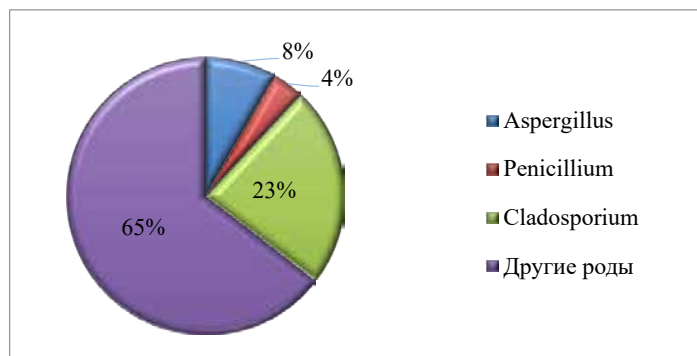


Рис. 3. Содержание плесневых грибов в образцах воздуха помещений стационара ($n = 461$)

Так, в палатах без видимых биоповреждений поверхностей, в среднем обнаруживалось от 20 до 300 КОЕ/м³ микромицетов рода *Aspergillus*, которые были представлены широким видовым разнообразием. В палатах с определяемыми биоповреждениями микромицеты рода *Aspergillus* выявлены в гораздо большем количестве.

В помещениях стационара также значительную долю составили микромицеты рода *Penicillium*.

Микромицеты являются опасными представителями контаминантов больничной среды, поскольку потенциально способны к агрессивному распространению, синтезу токсинов, биодеструкции поверхностей, заражению человека. Особенно опасны микромицеты в больничной среде для пациентов, имеющих сниженные иммунные функции [7].

Заключение

Таким образом, в воздушной среде стационарных ЛПО г. Санкт-Петербурга был обнаружен значительный уровень контаминирования воздуха условно-патогенными микроорганизмами, в числе которых наиболее опасными можно считать стафилококки и плесневые грибы. Адсорбция на слизистых оболочках микроорганизмов может привести к развитию внутрибольничных инфекций (аспергиллез, стафилококковых инфекций, внутрибольничных пневмоний). Отмечено, что очагами распространения микромицетов могут быть недостатки в системе вентиляции, биопов-

реждения отделочных материалов поверхностей помещений.

Полученные данные о микроорганизмах в воздухе помещения стационаров свидетельствуют о важности проведения работ в области выработки новых подходов к проведению дезинфекции во внутрибольничной среде.

Список литературы

1. Пунченко О.Е., Косякова К.Г., Васильева Н.В. Исследование микробиоты воздуха в многопрофильном стационаре Санкт-Петербурга // Гигиена и санитария. 2014. № 93 (5). С. 33–36.
2. Демиховская Е.В. Ванкомицин-резистентные энтерококки как возбудители внутрибольничных инфекций // Болезни и антибиотики. 2013. № 1 (8). С. 68–71.
3. Stegmann R., Burnens A., Maranta C.A., Perreten V. Human infection associated with methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* ST71. J. Antimicrob. Chemother. 2010. No. 65 (9). P. 2047–2048.
4. Savini V., Barbarini D., Polakowska K., Gherardi G., Biaiecka A. et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* infection in a bone marrow transplant recipient. J. Clin. Microbiol. 2013. No. 51 (5). P. 1636–1638.
5. Бакшеева С.С., Сергеева И.В. Стафилококковое бактерионосительство как критерий экологического неблагополучия среды обитания человека // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. С. 1–577.
6. Четина О.А., Баландина С.Ю. Исследование помещений стационара инфекционного профиля на предмет контаминации условно-патогенными грибами // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7880> (дата обращения: 30.08.2022).
7. Сергеев В.И., Кудрявцева Л.Г., Головенкина А.Ю., Алатырева Н.Ф., Александрова Г.А. Эффективность противоплесневой аэрозольной дезинфекции воздуха вентиляционных систем лечебно-профилактических учреждений с помощью дезинфектантов «Тефлекс» и «Амиксидин» // Проблемы медицинской микологии. 2010. № 12 (2). С. 29–32.

СТАТЬЯ

УДК 536.24

**УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ
ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ**

Горбунов А.А., Емельянов В.М., Леднев А.К.

*ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва,
e-mail: icingsugar@mail.ru*

Проведен анализ двух подходов к описанию состояния бинарной газовой смеси вблизи термодинамической критической точки: с использованием уравнения Ван-дер-Ваальса и закона Дальтона. Первый подход основан на предположении, что смесь подчиняется уравнению состояния того же вида (уравнению Ван-дер-Ваальса), что и для чистых компонент, а коэффициенты уравнения для смеси выражаются через коэффициенты уравнений для чистых компонент и с использованием различных моделей смешения. Вторым подходом основан на предположении, что давление смеси является суммой давлений компонент (закон Дальтона). В рамках первого подхода проведены расчеты критической температуры и давления для конкретных смесей с помощью уравнения Ван-дер-Ваальса для нескольких значений константы, отвечающей за взаимодействие компонент разного вида. Показано, что при соответствующем выборе модели смешения первый подход дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными. Подход, основанный на законе Дальтона, хорошо описывает поведение бинарной смеси вблизи термодинамической критической точки при внесении поправки к давлению, отвечающей за взаимодействие молекул разных компонент между собой. Для ряда смесей определено оптимальное численное значение поправки.

Ключевые слова: критическая термодинамическая точка, бинарная смесь, уравнение состояния Ван-дер-Ваальса, закон Дальтона, численный расчет

**EQUATION OF STATE OF A BINARY MIXTURE NEAR
THE CRITICAL POINT**

Gorbunov A.A., Emelyanov V.M., Lednev A.K.

Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, e-mail: icingsugar@mail.ru

Two methods of description of the state of binary mixture near the critical point are considered: with the use of the van der Waals equation and Dalton law. The state of binary mixture is analyzed. The first method implies that the form of the mixture equation of state is the same as that of the equation of state (van der Waals) of the pure components of the mixture. The coefficients of the equation of state of the mixture are assumed to be functions of the coefficients of the equations of pure components, so called mixing rules. The second method implies that the pressure of the mixture is the sum of the pressures of the components (the Dalton law). The calculations of critical temperature and pressure for various mixtures are compared with the experiments. It is shown that when a proper mixing rule is used the first method provides good agreement with the experimental data. The second method adequately describes the state of the mixture near the critical point when the pressure is corrected by a value depending on interaction of the molecules of different components. The value of the pressure correction is determined for various mixtures.

Keywords: thermodynamical critical point, binary mixture, van der Waals equation of state, Dalton law, numerical computation

Интерес к газовым смесям вызван их широким распространением в природе и применением в различных отраслях промышленности. Газовые смеси используются при производстве и регенерации катализаторов, в фармацевтической промышленности, при производстве биодизельного топлива (рапс + спирт), при повышении нефтеотдачи (углекислота + нефть), в качестве теплоносителя для ядерных реакторов ($\text{He} + \text{N}_2$), для аккумуляции энергии, полученной от альтернативных источников энергии, и во многих других областях. Среди наиболее востребованных смесей можно назвать смеси углекислого газа с углеводородами, смеси углеводородов, смеси воды с углекислым газом, аммиаком, сероводородом, углеводородами и др.

Важным с научной и практической точки зрения является изучение поведения таких смесей вблизи критической точки и описание состояния смесей с помощью наиболее простого уравнения, члены которого имеют ясный физический смысл, а само оно удобно для моделирования процессов теплопереноса в смеси сверхкритических флюидов (СКФ) [1, 2].

Материалы и методы исследования

В литературе можно найти различные уравнения состояния бинарной смеси, которые учитывают особенности взаимодействия молекул данной пары компонент [3–5]. Как правило, такие уравнения состояния содержат эмпирические константы и предназначены для описания смесей

при решении конкретных технических задач. При этом предполагается, что уравнение состояния для смеси имеет тот же вид, что и уравнения для чистых компонент, составляющих смесь. Такая постановка подразумевает необходимость нахождения законов (mixing rules), связывающих коэффициенты в уравнении для смеси с коэффициентами, входящими в уравнения для индивидуальных компонент. Такой подход, в частности, был предложен в работе [6], где проведен анализ зависимостей коэффициентов уравнения состояния Ван-дер-Ваальса для смеси от коэффициентов уравнений для индивидуальных компонент.

Если состояние каждой компоненты описывается уравнением Ван-дер-Ваальса

$$p_i = \frac{R_i \rho_i T}{1 - b_i \rho_i} - a_i \rho_i^2, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

и уравнение для смеси имеет тот же вид

$$p_{см} = \frac{R_{см} \rho_{см} T}{1 - b_{см} \rho_{см}} - a_{см} \rho_{см}^2, \quad (2)$$

то согласно этой работе

$$a_{см} = a_1(1-x)^2 + 2a_{12}x(1-x) + a_2x^2, \quad (3)$$

$$b_{см} = b_1(1-x)^2 + 2b_{12}x(1-x) + b_2x^2. \quad (4)$$

Здесь считается, что коэффициенты a_{12} и b_{12} отвечают за взаимодействие молекул компонент первого типа с молекулами компонента второго типа и являются комбинацией коэффициентов a_1 и a_2 и b_1 и b_2 .

Однако такой подход имеет ряд недостатков. Во-первых, коэффициент, отвечающий за взаимодействие молекул разных компонент, a_{12} , выражается через коэффициенты a_1 и a_2 , которые в принципе не содержат информацию о взаимодействии молекул разных компонент, поскольку определялись тем или иным способом для однокомпонентного газа. Во-вторых, такой подход достаточно разумен только для бинарных смесей, когда возможно проследить за физическим содержанием выражений коэффициентов смеси через исходные коэффициенты для одной и другой компоненты. Для случая трех и более компонент его реализация будет сопряжена с большими трудностями в связи с необходимостью предложить правила смешения, имеющие ясное физическое содержание.

Более того, даже для двухкомпонентного газа полученное таким методом уравнение может давать как завышенное, так и заниженное по сравнению с реальным давлением, что требует введения соответствующей поправки.

Альтернативой описанному может явиться подход, основанный на использовании закона Дальтона, в соответствии с которым давление смеси является суммой давлений компонент. Строго говоря, закон Дальтона справедлив для идеального газа, когда молекулы считаются материальными точками и взаимодействуют друг с другом только при столкновениях. В этом случае в результате суммирования для смеси получается уравнение того же вида (уравнение Клапейрона – Менделеева), что и у исходных компонент с газовой постоянной смеси, выраженной через газовые постоянные компонент.

В случае реального газа, когда необходимо учитывать отталкивание и притяжение молекул, давление смеси может оказаться больше или меньше суммы давлений компонент. А выражение для суммы давлений в общем случае не приводится к виду уравнений для отдельных компонент. В этом случае в выражение для давления должна быть внесена поправка, учитывающая взаимодействие молекул разного типа. Величина этой поправки должна зависеть от конкретного вида потенциала взаимодействия молекул разных типов, входящих в смесь.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящей работе приводится сравнение двух упомянутых подходов для описания состояния бинарной смеси вблизи критической точки. На основе сравнения с экспериментальными данными по конкретным смесям определено оптимальное правило смешения для смеси Ван-дер-Ваальса в рамках первого подхода и найден вид поправки к давлению смеси для второго подхода.

1. Смесь Ван-дер-Ваальса

Согласно [6] значение a_{12} для большинства веществ лежат в диапазоне от нуля до полусуммы значений коэффициентов a_1 и a_2 для чистых компонент

$$0 < a_{12} < \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Пусть

$$a_{12} = \alpha \frac{a_1 + a_2}{2},$$

где α – некоторый коэффициент $0 \leq \alpha \leq 1$, представляющий собой долю полусуммы a_1 и a_2 в значении параметра a_{12} смеси.

В данной работе сделаны расчеты критической температуры и давления смеси с помощью уравнения Ван-дер-Ваальса (1) для нескольких значений α в сравнении с экспериментальными значениями кри-

тической температуры и давления с целью определить оптимальное значение α .

В качестве примера на рис. 1 приведены данные измерений [7] и результаты расчетов критической температуры смеси CO_2+SF_6 . Видно, что наиболее близки к экспериментальным значениям расчетные значения критической температуры при $\alpha = 0,75$.

На рис. 2 приведены данные измерений и расчетные значения критического давления смеси CO_2+SF_6 в зависимости от массовой концентрации SF_6 для тех же значений α . Видно, что, так же как и для случая критической температуры, наиболее близки к измеренным значения критического давления, полученные для $\alpha = 0,75$.

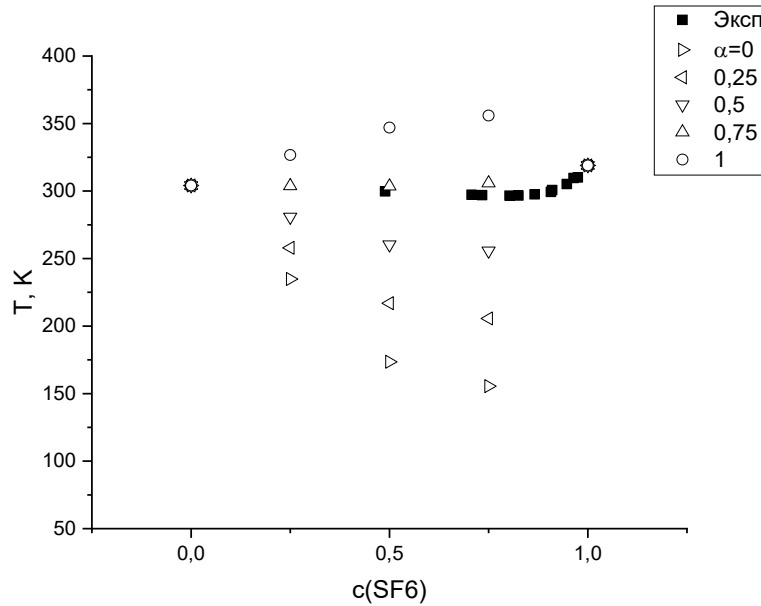


Рис. 1. Расчетная и экспериментальная критические температуры смеси углекислого газа и шестифтористой серы (CO_2+SF_6) при различных значениях массовой концентрации SF_6 . ■ – данные измерений [7]

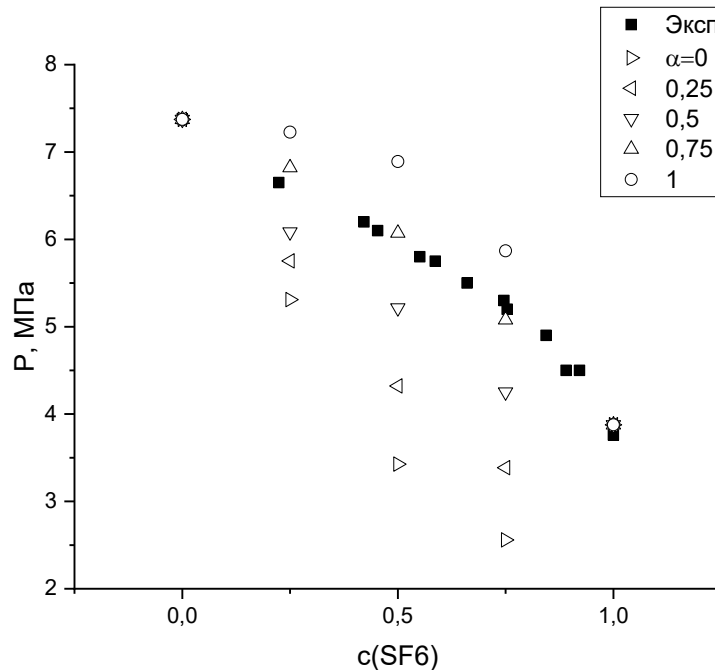


Рис. 2. Критическое давление смеси углекислого газа и шестифтористой серы (CO_2+SF_6) при различных концентрациях SF_6 . ■ – данные измерений [7]

2. Уравнение состояния смеси на основе закона Дальтона

Получим уравнение смеси на основе закона Дальтона. Пусть состояние каждой компоненты описывается уравнением Ван-дер-Ваальса (1).

В соответствии с законом Дальтона давление смеси равно сумме давлений компонентов

$$p_{\text{см}} = \frac{R_1 \rho_1 T}{1 - b_1 \rho_1} - a_1 \rho_1^2 + \frac{R_2 \rho_2 T}{1 - b_2 \rho_2} - a_2 \rho_2^2. \quad (5)$$

Используя соотношения

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \rho_{\text{см}} c, \\ \rho_2 &= \rho_{\text{см}} (1 - c), \end{aligned}$$

где c – массовая концентрация первого компонента, уравнение (5) может быть приведено к виду

$$p_{\text{см}} = \left[\frac{R_1 c}{1 - b_1 c c_{\text{см}}} + \frac{R_2 (1 - c)}{1 - b_2 (1 - c) c_{\text{см}}} \right] c_{\text{см}} T - \left[a_1 c^2 + a_2 (1 - c)^2 \right] c_{\text{см}}^2. \quad (6)$$

По этой формуле были проведены расчеты для определения критического давления смеси. При этом критическая плотность смеси вычислялась на основе зависимости, предложенной в [6]. Критическая температура смеси бралась из опытных данных.

Расчет по уравнению (6), которое не учитывает взаимодействия молекул раз-

ных компонент, даёт завышенные значения критического давления по сравнению с экспериментом. Ранее ([3]) для коррекции давления, полученного с помощью модифицированного уравнения состояния Бенедикта – Вебба – Рабина, была предложена поправка, учитывающая взаимодействие молекул компонент, пропорциональная произведению молярной концентрации $x(1-x)$ и коэффициентом пропорциональности, зависящим от квадрата плотности. Это дало возможность привести расчетные данные в соответствие с экспериментом. С учетом этого в данной работе вводится аналогичная поправка в виде

$$A_{12} c(1 - c) \rho_{\text{см}}^2,$$

где A_{12} – коэффициент, отвечающий за взаимодействие компонент разного вида. При этом уравнение для смеси будет иметь вид

$$p_{\text{см}} = \left[\frac{R_1 c}{1 - b_1 c c_{\text{см}}} + \frac{R_2 (1 - c)}{1 - b_2 (1 - c) c_{\text{см}}} \right] c_{\text{см}} T - \left[a_1 c^2 + A_{12} c(1 - c) + a_2 (1 - c)^2 \right] c_{\text{см}}^2. \quad (7)$$

На рис. 3 приведены зависимости критического давления от концентрации для смеси углекислого газа и шестифтористой серы, полученные в эксперименте [7] и рассчитанные по уравнению без поправки (6) и с поправкой (7) при различных значениях коэффициента A_{12} .

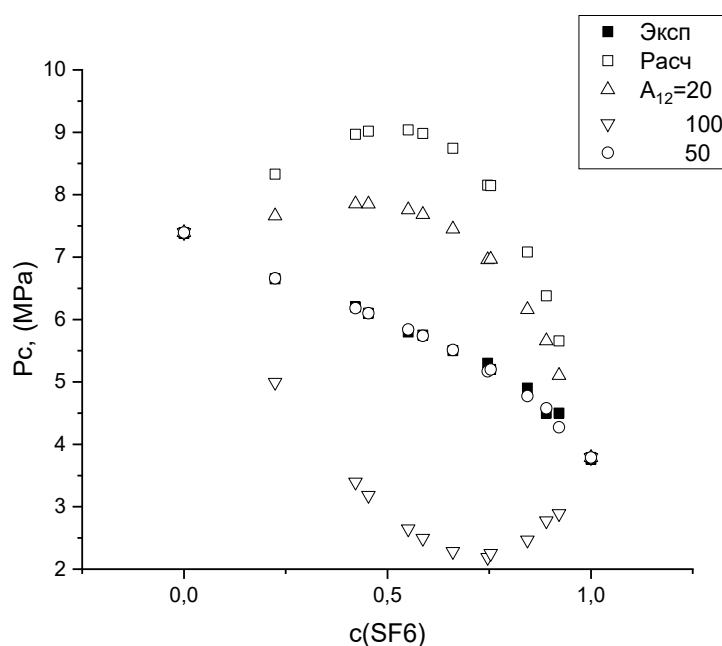


Рис. 3. Критическое давление смеси углекислого газа и шестифтористой серы ($\text{CO}_2 + \text{SF}_6$) в зависимости от массовой концентрации SF_6 в смеси: ■ – эксперимент [7]

Оптимальные значения параметров a_{12} , A_{12} и α для различных смесей

Смесь	Ван-дер-Ваальс		Дальтон	
	a_{12} , м ⁵ /кг·с	α	A_{12} , м ⁵ /кг·с	α
CO ₂ +SF ₆	62,07	0,75	50	0,60
CO ₂ +CH ₄	363,49	0,88	160	0,39
CO ₂ +C ₂ H ₆	221	0,75	200	0,68
C ₂ H ₆ +C ₃ H ₆	464,34	1,15	343	0,85
C ₂ H ₄ +C ₃ H ₆	481,30	1,25	350	0,90

Из рисунка видно, что значения критического давления, полученные по уравнению (6), лежат значительно выше экспериментальных значений. При введении поправки можно добиться хорошего совпадения расчетных и опытных данных. В данном случае наилучшее совпадение имеет место при $A_{12} = 50$ м⁵/с·кг.

Так же как и для случая газа Ван-дер-Ваальса, параметр A_{12} можно связать с параметрами a_1 и a_2 для чистых компонент

$$A_{12} = \alpha \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Лучше всего расчетные и экспериментальные данные совпадают при $\alpha = 0,6$.

В таблице представлены оптимальные значения параметров a_{12} , A_{12} и коэффициента α для различных смесей для расчетов по уравнению Ван-дер-Ваальса смеси и при использовании гипотезы Дальтона с внесением соответствующей поправки.

Заключение

Проведен анализ двух подходов к описанию состояния бинарной смеси, компоненты которой подчиняются уравнению состояния Ван-дер-Ваальса. Первый подход основан на предположении, что смесь также подчиняется уравнению состояния Ван-дер-Ваальса, а коэффициенты уравнения для смеси выражаются через коэффициенты уравнений для чистых компонент. Второй подход основан на предположении, что давление смеси является суммой давлений компонент (закон Дальтона).

В рамках первого подхода проведены расчеты критической температуры и давления для конкретных смесей с помощью уравнения Ван-дер-Ваальса для нескольких значений константы a_{12} . Проведено сравнение с экспериментальными значениями критической температуры и давления

и определено оптимальное значение константы a_{12} для ряда конкретных смесей.

В рамках второго подхода проведены расчеты критического давления с помощью уравнения состояния, полученного суммированием уравнений состояния компонент с соответствующей поправкой к давлению, содержащей константу A_{12} , отвечающую за взаимодействие молекул разных компонент.

Из сравнения с опытными данными определены оптимальные значения константы A_{12} для ряда смесей. Анализ полученных результатов показывает, что оба подхода удовлетворительно описывают состояние смеси вблизи критической точки и могут быть использованы при моделировании динамики и теплопереноса бинарных смесей.

Работа выполнена в рамках задания по госбюджетной теме № АААА-А20-120011690131-7.

Список литературы

1. Zhan-Chao Hu. Coupled Heat and Mass Transfer in Binary Mixtures at Supercritical Pressures. Springer. 2022. 169 p. DOI: 10.1007/978-981-16-7806-6.
2. Prud'homme R., Vincent S. Fluid Mechanics at Interfaces 1. Methods and Diversity. Wiley, 2022. 235 p.
3. Jaubert J.-N., Privat R. Thermodynamic Models for Chemical Processes. Design, Develop, Analyse and Optimise. Elsevier, 2021. 198 p.
4. Bakker R. J. Thermodynamic Properties and Applications of Modified van-der-Waals Equations of State, Thermodynamics – Fundamentals and Its Application in Science, Chapter 7. IntechOpen, 2012. P. 163–190. DOI: 10.5772/50315.
5. Kontogeorgis G.M., Privat R., Jaubert J.-N. Taking Another Look at the van der Waals Equation of State—Almost 150 Years Later. J. Chemical & Engineering Data. 2019. No. 64. P. 4619–4637. DOI: 10.1021/acs.jced.9b00264.
6. Ван дер Ваальс И.Д., Констант Ф. Курс термостатики. М.: ОНТИ, Гл. ред. хим. л-ры, 1936. 453+439 с.
7. Horstmann S., Fischer K. Measurement and Calculation of Critical Points for Binary and Ternary Mixtures. AIChE Journal. 2002. Vol. 48. No. 10. P. 2350–2356. DOI:10.1002/aic.690481024.

СТАТЬЯ

УДК 544.653:546

**АКТИВИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ ОСНОВ
И РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОМПОЗИЦИОННЫХ АНОДОВ В УСЛОВИЯХ РЕГЕНЕРАЦИИ
ОТРАБОТАННЫХ СЕРНОКИСЛЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ****Бачаев А.А., Смирнова В.М., Иванова О.М., Ивашкин Е.Г.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева»,
Нижний Новгород, e-mail: vals1208@rambler.ru*

В настоящее время все чаще используются композитные электроды, в которых активный слой оксидов основных металлов, выполняющий роль анода, наносится на низкоизносную титановую токопроводящую основу. Изучена возможность создания композитного анода на основе пористого титана для регенерации растворов серной кислоты. Комбинация двух относительно стабильных, но совершенно разных типов оксидов титана и марганца приводит к образованию кристаллохимической системы оксида металла, которая обладает не только металлическим типом проводимости и превосходной каталитической активностью, но и высокой коррозионной стойкостью. На основании результатов эксперимента с использованием монолитных титановых оснований был выбран способ нанесения активного слоя. Методом ротационного планирования второго порядка оптимизируются условия нанесения активного слоя. Критериями оптимизации являются вес активного слоя и величина стационарного потенциала. Проведено сравнение электрохимических характеристик полученных композитных анодов в зависимости от условий активации. Показано, что наибольший вклад в измеренное значение потенциала при анодной поляризации вносит омическое падение напряжения в пленке оксидов титана, образовавшейся на металле. Установлено влияние условий хранения электродов при перебоах в подаче тока и величины плотности анодного тока на электрохимические характеристики. Показано, что аноды на основе титана с активным слоем диоксида марганца обладают более высоким сопротивлением в исследуемом растворе, чем свинцовые и графитовые электроды, и имеют относительно низкое значение рабочего потенциала. Также важно, чтобы титановая основа могла быть повторно использована после регенерации.

Ключевые слова: сернокислый раствор, пористая титановая основа, активный слой, пропитка, термообработка, анод, электрохимические характеристики, хранение

**ACTIVATION OF TITANIUM BASES
AND RESOURCE CHARACTERISTICS OF COMPOSITE ANODES UNDER
CONDITIONS OF REGENERATION OF SPENT SULFATE ELECTROLYTES****Bachaev A.A., Smirnova V.M., Ivanova O.M., Ivashkin E.G.***Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: vals1208@rambler.ru*

Currently, composite electrodes are increasingly used, in which the active layer of base metal oxides, acting as an anode, is applied to a low-wear titanium conductive base. The possibility of creating a composite anode based on porous titanium for the regeneration of sulfuric acid solutions has been studied. The combination of two relatively stable, but completely different types of titanium and manganese oxides leads to the formation of a crystal-chemical metal oxide system, which has not only a metallic type of conductivity and excellent catalytic activity, but also high corrosion resistance. Based on the results of the experiment using monolithic titanium bases, the method of applying the active layer was chosen. The conditions of application of the active layer are optimized by the method of rotational planning of the second order. The optimization criteria are the weight of the active layer and the value of the stationary potential. The electrochemical characteristics of the obtained composite anodes are compared depending on the activation conditions. It is shown that the greatest contribution to the measured potential value at anode polarization is made by the ohmic voltage drop in the titanium oxide film formed on the metal. The influence of the storage conditions of the electrodes during power outages and the magnitude of the anode current density on the electrochemical characteristics has been established. It is shown that titanium-based anodes with an active layer of manganese dioxide have a higher resistance in the test solution than lead and graphite electrodes, and have a relatively low value of the operating potential. It is also important that the titanium base can be reused after regeneration.

Keywords: sulfuric acid solution, porous titanium base, active layer, impregnation, heat treatment, anode, electrochemical characteristics, storage

В предыдущей работе [1] для нанесения активного слоя рекомендовано в качестве токоподвода использовать пористую титановую основу. Установлено, что сопротивление пленки оксидов титана на пористой основе значительно ниже, чем на монолитной. Величина потенциала, измеряемая

в процессе анодной поляризации и являющаяся значимой составляющей рабочего потенциала композиционного электрода, в пять раз меньше, что в значительной мере определяет оксидная пленка, формирующаяся на поверхности титановой основы [2, 3].

Кроме того, пористая основа позволяет увеличить массу активного слоя, улучшить его адгезию к основе, развить поверхность и снизить истинную анодную плотность тока. Эти факторы должны способствовать увеличению срока службы и уменьшению измеряемой величины рабочего потенциала композиционного анода [4].

Знания о природе электрокаталитических и коррозионных свойств, проявляемых в процессе электролиза, недостаточны. Это препятствует совершенствованию эксплуатации анодных покрытий, выявлению всех их полезных ресурсов в каждом конкретном случае.

Цель исследования – оптимизация процесса нанесения активного слоя на пористую титановую основу, проведение ресурсных лабораторных испытаний полученных композиционных металлооксидных анодов; разработка технологических рекомендаций.

Перспективным является активный слой из диоксида марганца, который достаточно стоек в сернокислом растворе, обладает низким перенапряжением для выделения кислорода, низким удельным сопротивлением и может оказывать влияние на полупроводниковые свойства оксидов титана, так как соединения марганца обладают большим разнообразием степеней окисленности, радиусов ионов и модификаций строения кристаллической решетки [5]. Наносимые соединения марганца доступны, относительно дешевы, оказывают менее вредное воздействие на регенерируемые растворы по сравнению с оксидами на основе свинца, кобальта, никеля, железа [6].

Совмещение двух относительно стабильных, но совершенно разнотипных оксидов титана и марганца должно привести к образованию металлооксидной кристаллохимической системы, обладающей не только металллическим типом проводимости и превосходной каталитической активностью, но и высокой коррозионной стойкостью [2]. На это указывает поведение сплавов титана с марганцем (1–16%). При анодной поляризации скорость растворения титана из сплава сильно уменьшается. В этом случае наблюдается экстремальное изменение потенциала в начальные 0,5 А·мин: сначала рост, как и для монолитного титана, а по мере наработки ионов марганца в промежуточном оксидном слое – уменьшение. Выделение кислорода на таких сплавах начинается при потенциалах 1,5–1,6 В, тогда как на титане марки ВТ 1-0 – при потенциале 2,0 В [6].

Известны несколько способов нанесения диоксида марганца на титановую основу: электрохимическое осаждение

на катоде из электролита, содержащего KMnO_4 ; пропитка в растворе, содержащем KMnO_4 и HNO_3 с последующей термообработкой; термическое разложение (пиролиз) соли $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [6, 7].

Из сравнения достигнутых эксплуатационных характеристик следует, что термический способ (пиролиз) нанесения двуокиси марганца позволяет получать активные слои с более электропроводными структурами, большей электрохимической активностью, меньшим значением величины рабочего потенциала, с более высокой адгезией и плотностью.

Материалы и методы исследования

Марки использованных титановых оснoв, их составы и способы подготовки поверхности, а также методики и приборы для поляризационных исследований приведены в нашей предыдущей работе. Там же приведен состав отработанного сернокислого раствора, полученного после выщелачивания шламов [4]. Исследования состава раствора проводились атомно-абсорбционным методом, ресурсные характеристики полученных анодов определялись гальваностатически, величина потенциалов измерялась относительно хлорсеребряного электрода сравнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Предварительно, по величине рабочих потенциалов в начальный период анодной поляризации (13 А·мин), определено влияние способов активирования по рекомендованным методикам на монолитных титановых основах.

Пиролитический способ активирования путем намазывания и последующей термообработки обеспечил наименьшее значение рабочего потенциала (2,6 В) и стабильность его в исследуемом интервале и более 25 В при других способах и без активирования.

Однако во всех рассмотренных случаях даже получение минимально допустимой толщины активного слоя требует многократного повторения операций. Наблюдались случаи отслаивания активного слоя от монолитной основы.

Большинство из перечисленных недостатков может быть устранено при использовании пористых титановых оснoв: многократное намазывание заменяется пропиткой; большая масса и лучшее удержание активного слоя в порах, что должно увеличивать срок службы композиционных анодов.

После 13 А·мин величины рабочих потенциалов составляли 1,75 В для активирован-

ной пористой основы и 6,0 В для неактивированной, замедлено смещение потенциалов в положительную сторону при анодной поляризации. Основной составляющей величины рабочего потенциала в исследованных случаях является падение напряжения в слое оксидов титана. Активирование титановых основ уменьшает вклад этой составляющей в процессе анодной поляризации. Причинами этого могут быть: защитные свойства сформированного активного слоя, что затрудняет доставку кислорода и уменьшение роста толщины TiO_2 , обладающего высоким сопротивлением; легирование поверхностного слоя оксида титана соединениями марганца.

Возможности влияния факторов в первую очередь определяются условиями активирования. Для получения анода с высокими электрохимическими свойствами методом математического планирования [4] проведена оптимизация условий пропитки пористой основы титана и последующей термообработки.

Наиболее существенными факторами являются температура и время термообработки [6]. В качестве критерия оптимизации взят привес электродов. Исходя из планов второго порядка статистического метода планирования, предварительно была проведена серия из 13 опытов. Максимальным привесам, как правило, соответствовали практически самые электроположительные стационарные потенциалы. Стационарный потенциал непротитанной пористой основы в исследуемом растворе после термообработки при температуре 400 °С в течении 1 часа равен 0,41 В, а привес – 0,0023 гр. Из сравнения значений привесов следует, что за увеличение массы электродов после пропитки и термообработки за смещение стационарного потенциала в электроположительную сторону до 1,33В в большей мере отвечает активный слой соединений марганца.

По результатам оптимизации получено уравнение регрессии:

$$Y = 0,007417 + 0,000462X_1 + 0,000619X_2 - 0,000109X_1^2 + 0,000394X_2^2 + 0,0006X_1X_2, \quad (1)$$

где Y – привес электрода, г;

X_1 – температура, °С;

X_2 – продолжительность, мин.

Из результатов матрицы планирования крутого восхождения на поверхности отклика и величин коэффициентов уравнения следует, что привес электрода в большей степени зависит от времени термообработки и произведения времени и температуры, в меньшей – от температуры (рис. 1).

На основании полученной зависимости проведены уточняющие исследования влияния времени и температуры термообработки при одинаковой величине их произведения на привес и стационарный потенциал электрода. Одновременно рассмотрено влияние температуры пропитки.

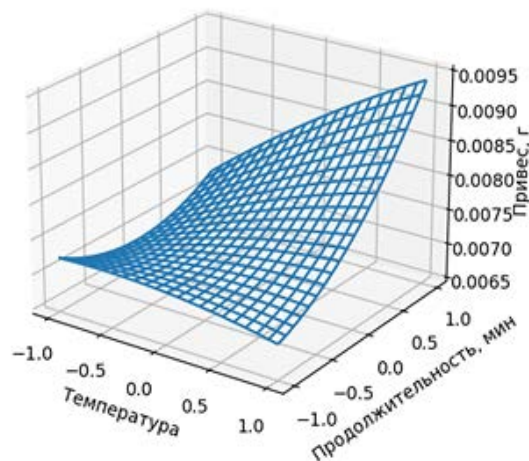


Рис. 1. Поверхность отклика расчетного значения привеса электрода в зависимости от температуры и продолжительности процесса электролиза

Нанесение активного слоя двуокиси марганца на пористую титановую основу осуществлялось по следующей схеме: пропитка в $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в течение двух часов при температурах 30; 60; 90 °С с последующей термообработкой при температурах от 200 до 400 °С (с шагом 50 °С) от 90 до 45 мин (произведение температуры на время было величиной постоянной). По разнице веса основ образцов до пропитки и композиционных электродов после термообработки определялся вес активного слоя.

Из табл. 1 следует, что при снижении температуры термообработки и увеличении времени в целом наблюдается тенденция сдвига стационарного потенциала в положительную сторону. Сдвиг потенциала связан с образованием активного слоя, состоящего из соединений марганца, приводящего к экранированию поверхности титана. При этом влияние более отрицательного стационарного потенциала титановой основы проявляется в меньшей мере.

Из исследованного диапазона влияния температуры пропитки и режимов термообработки на электрохимические характеристики заслуживают внимания варианты а, б, в (табл. 1). В этих случаях под действием тока (12 А/мин) устанавливаются значения рабочих потенциалов анодов в зависимости от температуры пропитки в диапазоне 1,75–2,0 В.

Таблица 1

Стационарные потенциалы в исследуемом растворе и привес электродов в зависимости от режимов пропитки и термообработки

Варианты	Режимы термообработки		Привес электрода, гр			Стационарный потенциал, В		
	температура, °С	время, мин	температура пропитки					
			30 °С	60 °С	90 °С	30 °С	60 °С	90 °С
а	200	90	0,0348	0,16	0,0206	–	1,357	1,276
б	250	72	0,0244	0,0142	0,0148	1,37	1,331	1,332
в	300	60	0,0201	0,0129	0,133	1,332	1,292	1,274
г	350	52	0,0232	0,0128	0,0123	1,354	1,316	1,277
д	400	45	0,0237	0,0143	0,0101	1,288	1,227	1,303
е	300	240	0,0165	0,0134	0,0122	1,368	1,308	1,291

Таблица 2

Потенциалы электродов в исследуемом растворе

Варианты (табл. 1)	Режимы			Потенциал, В		
	Температура пропитки, °С	Температура термообработки, °С	Время термообработки, мин	Стандартный свежеизготовленного электрода до поляризации	Рабочий в конце поляризации	Стационарный после отключения поляризации
а	90	200	90	1,26	11,1	0,42
г ₁	90	350	52	1,3	10,7	0,47
г ₂	60	350	52	1,24	10,1	0,46
е	60	300	240	1,27	9,0	0,52

При всех температурах пропитки термообработка продолжительностью 45 мин при 400 °С дает наиболее высокие потенциалы под током, которые сдвигаются в положительную сторону с ростом температуры пропитки (30 °С – до 1,98 В, 60 °С – до 2,24 В, 90 °С – до 2,72 В при 12 А·мин).

В соответствии с [2, 3] на поверхности титана внешний слой оксида приближается по составу к TiO₂, который, как и образующийся MnO₂, имеет проводимость п-типа, электропроводимость которых снижается с увеличением содержания кислорода, поэтому электроды имеют более высокое сопротивление.

Из сравнения величин скачков потенциала при включении тока, что характеризует омическое сопротивление композиционных электродов, пропитанных при разных температурах ΔE_{30 °С} = 0,37 В, ΔE_{60 °С} = 0,7 В, ΔE_{90 °С} = 0,98 В, следует, что влияние оказывает и температура пропитки. С ростом температуры скорость окисления поверхности титана увеличивается под действием кислородных соединений азота (NO₂):



При увеличении времени и снижении температуры термообработки при последующей анодной поляризации наблюдается тенденция к установлению более электроотрицательных рабочих потенциалов электродов. Эту зависимость можно связать с образованием на его поверхности более компактного слоя из соединений марганца и увеличением дефектности оксида титана за счет диффузии ионов марганца вглубь этого оксида.

При большем времени термообработки (300 °С – 4 часа) увеличивается степень содержания кислорода в диоксиде титана. За счет окисления титана кислородными соединениями азота снижается дефектность диоксида титана.

При такой длительной термообработке возможны и фазовые превращения, которые могут приводить к образованию менее электропроводных модификаций [3, 5]. Это приводит к большему потенциалу при анодной поляризации.

При температурах термообработки до 300 °С устанавливается менее положительное значение потенциала. Вероятно, в этом случае образуется диоксид титана с большей дефектностью и с более плотным слоем

диоксида марганца, который мог в процессе термообработки перейти в другую модификацию, возможно, более электропроводную.

Исходя из вышесказанного, для длительных ресурсных испытаний под анодной поляризацией были выбраны электроды, обработанные при следующих режимах (табл. 2).

Исследовано поведение анодов, которые после отключения тока не вынимались из исследуемого раствора. При этом становится возможной внутренняя катодная поляризация активного слоя.

Стационарные потенциалы электродов после отключения тока смещались в электроотрицательную сторону (табл. 2), т.е. состояние поверхности электродов приближается к состоянию поверхности неактивированного титана. Под действием внутренней поляризации активный слой, содержащий соединения окисленного марганца, растворялся, и ионы марганца переходили в раствор. Об этом свидетельствуют результаты анализов исследуемого раствора атомно-абсорбционным методом. Концентрация марганца в исследуемом растворе после электролиза достигала 27 мг/л. Растворение в периоды отключения тока обусловлено работой электрохимической пары $Ti - MnO_2$. В качестве анода выступает поверхность титановой основы, а катода – поверхность диоксида марганца, контактирующая с электролитом, на которой происходит восстановление диоксида марганца до низших оксидов и переход их в раствор [8].

При возобновлении анодной поляризации потенциалы начинают резко смещаться в положительную сторону, и при прохождении через них $54,4 \text{ A}\cdot\text{ч}/\text{дм}^2$ они достигают значений, приведенных в табл. 2. Резкий рост потенциалов можно объяснить тем, что в процессе электролиза водных растворов наблюдается увеличение падения напряжения на границе Ti/MnO_2 , связанное с окислением титана из-за уменьшения блокирующих свойств активного слоя. В процессе длительной анодной поляризации меняется содержание кислорода, увеличивается степень окисления марганца, что снижает концентрацию носителей тока, снижается электропроводность и возрастают потери напряжения в слое окисла, особенно в его внешней зоне. Скачок потенциала при включении тока, что свидетельствует о величине омического сопротивления композиционного электрода, в начале эксплуатации составлял 0,3–0,5 В, к концу эти значения возрастают до 1,5–2,0 В. При этом стационарные потенциалы электродов в те-

чение работы практически не изменялись. Это свидетельствует о том, что растворение активного слоя влияет в меньшей степени по сравнению с процессом окисления поверхности титана.

Потенциалы электродов, которые при отключении тока вынимались из исследуемого раствора и хранились на воздухе, при последующей анодной поляризации растут медленнее (рис. 2) по сравнению с тем опытом, в котором электроды оставались в электролите после отключения тока (табл. 2).

Поляризация таких электродов, их стационарные потенциалы практически не смещались в электроотрицательную сторону, так как при выдержке анодов на воздухе растворение активного слоя с поверхности титана практически не происходит из-за отсутствия катодной составляющей для MnO_2 , которая есть при коррозии. В результате при анодной поляризации титан окислялся медленнее.

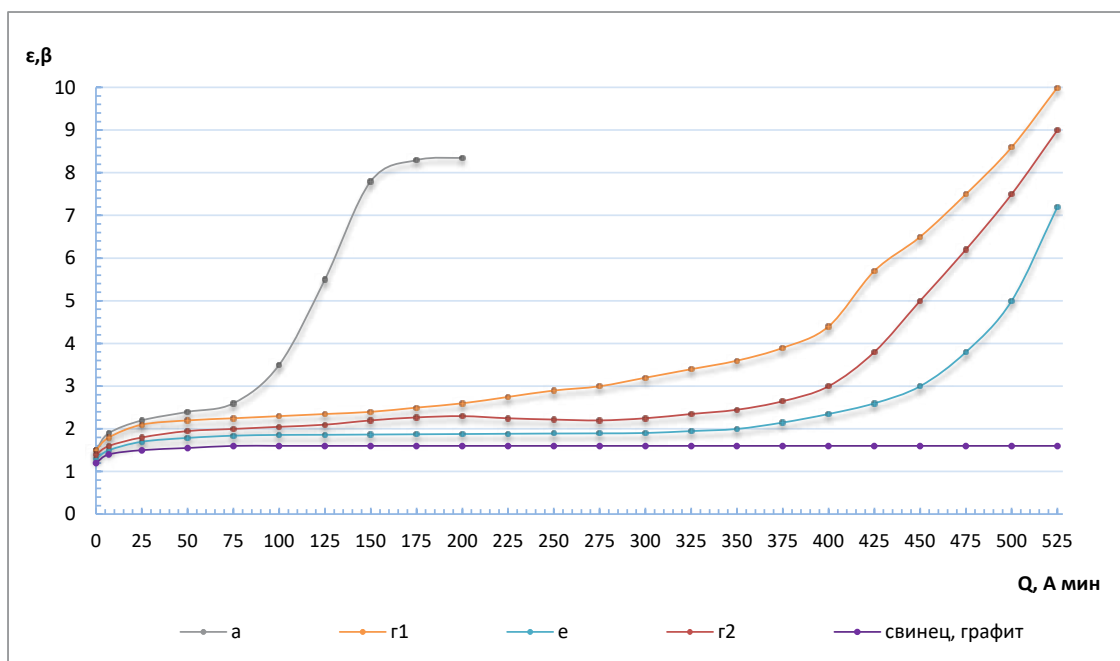
У электрода, обработанного в течение 52 мин при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ после пропитки при $60 \text{ }^\circ\text{C}$ потенциал при анодной поляризации смещался в положительную сторону меньше, чем у других электродов (рис. 2, табл. 2). Возможно, что в этом случае образовался слой соединений марганца с наименьшей пористостью и наименьшим содержанием кислорода, для которых характерно образование более электропроводных модификаций [5].

Термическое разложение $Mn(NO_3)_2$ при более высокой температуре приводит к образованию оксидов с меньшим содержанием кислорода и более дефектных структур, но одновременно увеличивается толщина поверхностной пассивной пленки TiO_2 , что является превалирующим фактором [2, 3].

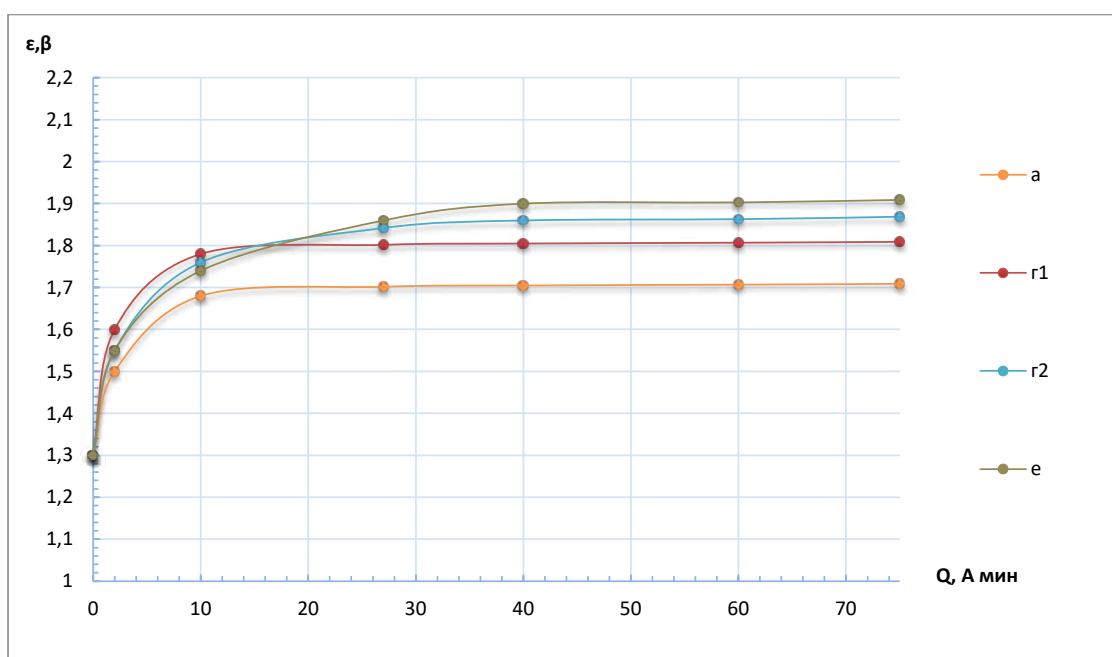
Из вышеприведенных результатов следует, что при анодной поляризации за счет окисления титана и увеличения падения напряжения на границе Ti/MnO_2 рабочие потенциалы электродов смещаются в положительную сторону.

В работе [1] было показано, что скорости окисления титана и формирования плохо проводящего оксида могут быть заторможены путем снижения плотности тока. На рис. 3 представлена зависимость потенциалов анодов от количества пропущенного электричества при плотности тока $0,8 \text{ A}/\text{дм}^2$.

В этом случае при анодной поляризации потенциалы электродов сдвигаются в электроположительную сторону медленнее по сравнению с потенциалами при поляризации плотностью тока $2,8 \text{ A}/\text{дм}^2$.



*а, г₁, г₂, е – режимы обработки указаны в табл. 2.
Рис. 2. Изменение потенциала электродов при анодной поляризации током 2,8 А/дм²*



*а, г₁, г₂, е – режимы обработки указаны в табл. 2.
Рис. 3. Влияние режимов обработки на работоспособность электродов при плотности тока 0,8 А/дм²*

С уменьшением плотности тока будет снижаться и перенапряжение для выделения кислорода, возможно, будет образовываться пленка оксидов титана с менее защитными свойствами, то есть ее сопротивление будет меньше.

Таким образом, для увеличения срока службы подобных электродов желательно работать при более низких плотностях тока, если это позволяют условия электролиза.

Другим путем снижения окисления поверхности титана может быть экраниро-

вание ее от электролита более толстым и плотным активным слоем.

После 198 А·ч/дм² потенциал электрода под током 2,8 А/дм² после двукратной пропитки (2,0 В) электроотрицательнее потенциалов электродов, которые пропитывались один раз (2,3 В).

Для определения достигнутого нами уровня были проведены параллельные испытания анодов на пористой титановой основе с активным слоем из диоксида марганца, свинцового и графитового анодов в исследуемом растворе. Из полученных результатов (рис. 2) следует, что потенциал свинцового электрода был несколько ниже (~1,98 В), чем у разрабатываемых электродов, но при прохождении 223 А·ч/дм² свинцовый электрод вышел из строя. Возможно, это связано с присутствием в исследуемом растворе ионов Cl⁻ и NO₃⁻, благодаря которым свинец растворялся. На это указывают результаты анализа атомно-абсорбционным методом раствора после электролиза. Концентрация вредного свинца в растворе после электролиза – 6,6 мг/л. Также в процессе работы свинцового электрода наблюдалось отслаивание двуокиси свинца. Последнее, по-видимому, является определяющим в износе свинцового электрода.

Потенциал графитового электрода был довольно стабилен (1,8–2,0 В), но при его использовании электролит был черного цвета, так как в нем присутствовали частицы графита.

На данном этапе работы можно сказать, что аноды на титановой основе с активным слоем из диоксида марганца обладают более высокой стойкостью в исследуемом растворе, чем свинцовый и графитовый электроды, и имеют относительно низкое значение рабочего потенциала. Важно и то, что титановая основа после регенерации может использоваться повторно.

Выводы

1. Выбран способ и оптимизирован режим процесса активирования поверхности титана нанесением на нее слоя из двуокиси марганца путем пропитки пористой основы с последующей термообработкой. В результате оптимизации установлено, что определяющим фактором является продолжительность и в меньшей мере температура термообработки.

2. Активный слой значительно снижает окисление поверхности титана при анодной поляризации. Выделение кислорода переносится с оксидов титана на активный слой, обладающий меньшим перенапряжением

для этого процесса. В целом удалось снизить рабочий потенциал такого анода до 1,7–2,0 В, значительно стабилизировать его при длительной анодной поляризации и надежно удерживать активный слой в порах.

3. Отмечено влияние способа хранения полученных электродов при перерывах тока в процессе эксплуатации. Рабочие потенциалы электродов, которые хранились на воздухе, увеличивались значительно медленнее, чем при хранении в исследуемом электролите.

4. При анодной поляризации плотностью тока 2,8 А/дм² потенциалы электродов остаются практически постоянными (~2,5 В) до наработки 416 А·ч/дм². При плотности тока 0,8 А/дм² и двукратной пропитке основы величина потенциалов составила 1,8–2,0 В (при 70 А·ч/дм²). При прохождении такого же количества электричества потенциалы при плотности тока 2,8 А/дм² составляют 2,0–2,4 В.

5. Получен новый фактический материал, позволяющий оценить возможности оксидномарганцевотитанового анода в зависимости от условий эксплуатации и режимов активирования пористой титановой основы.

Список литературы

1. Бачаев А.А., Пачурин Г.В., Смирнова В.М., Иванова О.М. Характеристики титановых основ для композиционных анодов в условиях регенерации отработанных сернокислых электролитов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 2. С. 76–80.
2. Винокурова И.М., Спиридонов Б.А. Коррозионное и электрохимическое поведение технического титана в кислых средах // Физическая химия строительных и технических материалов. 2016. Выпуск № 1 (12). С. 25–29.
3. Марьева Е.М., Попова О.В. Влияние состава электролита на процесс электрохимического окисления титана // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 1. С. 173–177.
4. Бачаев А.А., Пачурин Г.В., Смирнова В.М., Шаманин М.В. Разработка композиционных анодов электрохимических процессов технологии регенерации сернокислых растворов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6 (ч. 2). С. 228–235.
5. Францев Р.К., Гусева Е.С., Попова С.С. Влияние природы редкоземельного металла на кинетику электрохимических процессов MnO₂-электродах в апротонных органических растворах // Электрохимическая энергетика. 2011. № 2. С. 82–84.
6. Якименко Л.М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. М.: Химия, 1977.
7. Беспалова Ж.И., Паненко И.Н. Способ получения оксидных каталитических активных слоев на поверхности, выполненной из вентильного металла или его сплава // Патент РФ № 2500474 МПК: B01 J 37/34, B01 J 37/02, C25D 11/12. № 2012137991/04; заявл. 05.09.2012; опубл. 10.12.2013. бюл. № 34.
8. Баешов А.Д., Баешова А.К., Иванов Н.С., Абдувалиева У.А., Цыганкова Н.Е., Вигдорович В.И. Электрохимическое поведение титана при поляризации переменным током в растворах серной кислоты // Коррозия: материалы, защита. 2013. № 5. С. 1–6.