

**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 = 0,580

№ 4 2021

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ = 0,286

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](http://www.rae.ru)

The electronic version takes places on a site [www.rae.ru](http://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 = 0,580.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,286.**

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](mailto:edition@rae.ru)

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова

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

Подписано в печать – 30.04.2021

Дата выхода номера – 31.05.2021

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. 12,25

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2021/4

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

## СОДЕРЖАНИЕ

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

- ПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ ДИКОРАСТУЩИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ  
БАССЕЙНА РЕКИ ДЖУМГАЛ  
*Бексултанова А.М.* ..... 7
- ИЗМЕНЕНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ  
У ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ПРЕДЭКЗАМЕНАЦИОННОГО СТРЕССА  
*Репалова Н.В., Авдеева Е.В.* ..... 12

**ОБЗОРЫ**

- БИОСЕНСОРЫ ГЛЮКОЗЫ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕАКЦИИ ЕЕ ОКИСЛЕНИЯ  
НАНОЧАСТИЦАМИ CU, ОКСИДОВ МЕДИ, ИХ СПЛАВОВ/КОМПОЗИТОВ: КРАТКИЙ ОБЗОР  
*Махматов Б.Б., Ким Ю.А.* ..... 17
- КРЕАТИН В СПОРТИВНОМ ПИТАНИИ И КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ.  
НОВЫЕ ДАННЫЕ  
*Стогов М.В., Нененко Н.Д., Кучин Р.В.* ..... 25

**МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

- ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19  
*Елишев В.Г., Шершеев А.С., Киселев Е.А., Гетманчук А.П., Дорофеев А.В.,  
Мясникова О.В., Борзунов И.В., Белкин В.А., Басов А.Г., Салоутина А.Н.* ..... 31
- НЕАЛКОГОЛЬНЫЕ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ: СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ  
*Пономарева И.П., Дьякова Е.М., Путивцева О.С., Лебедева О.Н.* ..... 41

**ОБЗОРЫ**

- ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКРИНИНГА КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА  
*Джуманов А.И., Кайдарова Д.Р., Ошибаева А.Е., Жылкайдарова А.Ж., Кузикеев М.А.* ..... 46

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

- МОДИФИКАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ TINY-YOLO ДЛЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ  
В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ  
*Денисенко А.А.* ..... 53
- ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЕГГОВСКИХ РЕШЕТОК  
*Кусаинова К.Т., Кабибулатов А.А., Хамзина Б.Е., Жетписбаева А.Т., Иманмадилов Д.К.* ..... 58
- ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕБНО-ЭВАКУАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПРИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ АКТАХ В РФ  
*Малкина Н.В., Букаев О.Н., Болванович А.Е., Добкина С.А., Юматова Е.В.* ..... 63
- К ВОПРОСУ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ  
*Шатманов О.Т., Эсеналиев Т.Б., Дуйшеебаев С.С.* ..... 68

---

**ОБЗОРЫ**СОВРЕМЕННЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
НА ОРГАНИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ*Колосова А.С., Пикалов Е.С.* ..... 74**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ  
И КИНЕТИКИ МАССОПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ*Ганюков А.А., Кадырова И.А., Кадыров А.С., Маратов Д.Д. (студент)* ..... 86АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ В ПЛАНАХ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ*Подобед С.А.* ..... 92

---

**CONTENTS**
**BIOLOGICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

- PATHOGENIC MICROMYCETES OF WILD MEDICAL PLANTS  
OF THE JUMGAL RIVER BASIN  
*Beksultanova A.M.* ..... 7

- CHANGE IN THE ADAPTIVE POTENTIAL OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM  
IN FOREIGN STUDENTS UNDER PRE-EXAMINATION STRESS  
*Repalova N.V., Avdeyva E.V.* ..... 12

**REVIEWS**

- BIOSENSORS OF GLUCOSE BASED ON THE REACTION OF ITS OXIDATION  
BY NANOPARTICLES OF CU, COPPER OXIDES AND THEIR ALLOYS/COMPOSITES:  
A BRIEF REVIEW  
*Makhmutov B.B., Kim Yu.A.* ..... 17

- CREATINE IN SPORTS NUTRITION AND CLINICAL PRACTICE.  
NEW DATA  
*Stogov M.V., Nenenko N.D., Kuchin R.V.* ..... 25

**MEDICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

- ORGANIZATION OF THE WORK OF THE CANCER SERVICE OF THE SVERDLOVSK  
REGION IN THE CONTEXT OF THE COVID-19 PANDEMIC  
*Elishiev V.G., Shershever A.S., Kiselev E.A., Getmanchuk A.P., Dorofeev A.V.,  
Myasnikova O.V., Borzunov I.V., Belkin V.A., Basov A.G., Saloutina A.N.* ..... 31

- NON-ALCOHOLIC LIVER DISEASES: MODERN OPPORTUNITIES  
OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS  
*Ponomareva I.P., Dyakova E.M., Putivtseva O.S., Lebedeva O.N.* ..... 41

**REVIEWS**

- THE COST-EFFECTIVENESS OF SCREENING FOR COLORECTAL CANCER  
*Dzhumanov A.I., Kaydarova D.R., Oshibaeva A.E., Zhylkaydarova A.Zh., Kuzikeev M.A.* ..... 46

**TECHNICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

- MODIFICATION OF TINY-YOLO ARCHITECTURE FOR OBJECT  
DETECTION IN REAL TIME  
*Denysenko A.A.* ..... 53

- APPLICATION OF FIBER BRAGG GRATINGS  
*Kusainova K.T., Kabibulatov A.A., Khamzina B.E., Zhetpisbaeva A.T., Imanmadirov D.K.* ..... 58

- ASSESSMENT OF THE LEVEL OF EMERGENCY MEDICAL CARE FOR PEOPLE DURING  
TERRORIST ACTS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION  
*Malkina N.V., Bukayev O.N., Bolvanovich A.E., Dobkina S.A., Yumatova E.V.* ..... 63

---

TO THE QUESTION OF PASSENGER TRANSPORTATION IN THE KYRGYZ REPUBLIC

*Shatmanov O.T., Esenaliev T.B., Duyshebaev S.S.* ..... 68

**REVIEWS**

MODERN EFFECTIVE THERMAL INSULATION MATERIALS ON ORGANIC BASE

*Kolosova A.S., Pikalov E.S.* ..... 74

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

**ARTICLES**

MATHEMATICAL MODELING OF DIFFUSION AND KINETICS OF MASS TRANSFER  
OF SUBSTANCES IN VARIOUS MEDIA

*Ganyukov A.A., Kadyrova I.A., Kadyrov A.S., Maratov D.D. (student)* ..... 86

ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE BASIC KINEMATIC  
CHARACTERISTICS OF PLANE BODY MOTION USING METRIC  
RELATIONS IN THE PLANS OF SPEED AND ACCELERATION

*Podobed S.A.* ..... 92

СТАТЬИ

УДК 582.28(575.2)

**ПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ ДИКОРАСТУЩИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ БАСЕЙНА РЕКИ ДЖУМГАЛ**

**Бексултанова А.М.**

*Институт биологии НАН Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: ayzada.beksultanova.82@mail.ru*

Проблемы охраны природы и рационального использования растительных ресурсов в настоящее время являются достаточно актуальными. В связи с этим особое значение приобретает изучение различных ранее не исследованных регионов, к числу которых относится бассейн реки Джумгал. Несмотря на большое хозяйственное и научное значение данного района, целенаправленного исследования его микобиоты не проводилось. Микологические исследования были проведены в период с 2011 по 2019 г. Объектами изучения были микромицеты, субстратом которых являются высшие растения. Работа проходила в два этапа: полевой и лабораторный. Во время полевых исследований проводился сбор пораженных микромицетами растений (вегетативные и генеративные побеги, ветки, плоды). В результате обработано 500 листов гербарного материала из различных семейств высших растений. Проводились систематические маршрутные исследования микромицетов на дикорастущей и культурной флоре бассейна реки Джумгал в течение вегетационного периода в различных экологических условиях. Были обследованы все типы растительности, начиная от полупустынь (1500–1800 м над ур. м.) до альпийских лугов (3500–4000 м над ур. м.). Особое внимание было уделено выявлению паразитных грибов на дикорастущих лекарственных растениях. Выявленные нами микромицеты впервые зарегистрированы для этого района и дополнили общие сведения о микофлоре Кыргызстана. Характеристика микромицетов бассейна реки Джумгал, материалы по их сезонной динамике, поражаемости растений, прогнозы появления и распространения паразитных видов будут востребованы при защите лекарственных растений и позволят вести борьбу с опасными заболеваниями в оптимальные сроки. В результате наших исследований идентифицировано 119 видов фитопатогенных грибов и грибоподобных организмов на 76 видах дикорастущих лекарственных растений бассейна реки Джумгал.

**Ключевые слова:** фитопатогенные микромицеты, грибоподобные организмы, семейство, род, вид, лекарственные растения

**PATHOGENIC MICROMYCETES OF WILD MEDICAL PLANTS OF THE JUMGAL RIVER BASIN**

**Beksultanova A.M.**

*Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: ayzada.beksultanova.82@mail.ru*

The problems of nature protection and rational use of plant resources are currently quite relevant. In this regard, the study of various previously unexplored regions, including the Jumgal River basin, is of particular importance. Despite the great economic and scientific importance of this area, a targeted study of its mycobiota was not conducted. Mycological studies were conducted between 2011 and 2019. The objects of study were micromycetes, the substrate of which is higher plants. The work was carried out in two stages: field and laboratory. During the field studies, the collection of plants affected by micromycetes (vegetative and generative shoots, branches, fruits) was carried out. As a result, 500 sheets of herbarium material from various families of higher plants were processed. Systematic route studies of micromycetes on the wild and cultural flora of the Jumgal River Basin were carried out during the growing season under various environmental conditions. All types of vegetation were examined, ranging from near-deserts (1500–1800 m above sea level) to alpine meadows (3500–4000 m). Special attention was paid to the identification of parasitic fungi on wild medical plants. The micromycetes identified by us were registered for the first time for this area and added to the general information about the mycoflora of Kyrgyzstan. Characteristics of micromycetes of the Jumgal River Basin, materials on their seasonal dynamics, plant infestation, forecasts of the appearance and spread of parasitic species will be in demand in the protection of medical plants and will allow us to fight dangerous diseases in the optimal time. As a result of our research, 119 species of phytopathogenic fungi and fungus-like organisms were identified in 76 species of wild medical plants of the Jumgal River Basin.

**Keywords:** phytopathogenic micromycetes, fungus-like organisms, family, genus, species, medical plants

К бассейну реки Джумгал относится замкнутая Джумгальская котловина со склонами окружающих ее хребтов. В бассейне реки Джумгал произрастает большое количество дикорастущих лекарственных растений, широко применяющихся в научной и народной медицине. Широко распространенными видами являются виды *Ligularia* и *Polygonum*, *Phlomis oreophila*, *Allium atrosanguineum* и другие виды Джумгальской котловины, более высоких участков предго-

рий и склонов хребтов в пределах от 1700–2000 м до 2700 м. Злаково-разнотравные криофитные низкотравные (альпийские) луга характерны особенно для хребтов Северного Тянь-Шаня и отдельных хребтов Внутреннего Тянь-Шаня. Об особенностях экологической обстановки района, где существуют эти луга, дают представление данные метеостанции Туз-Ашуу (северный макросклон Киргизского хребта, абс. высота 3090 м). Среднегодовая температура воз-

духа плюс 1,7°C. Абсолютный максимум в июле 23°C. Сумма температур воздуха выше 5°C до 7000. Годовая сумма осадков – 689 мм. Максимум осадков выпадает в весенне-раннелетнее время [1, с. 152].

Целью настоящей работы является изучение патогенной микобиоты дикорастущих лекарственных растений бассейна реки Джумгал и проведение таксономического и экологического анализа исследованных грибов.

#### Материалы и методы исследования

Материалом исследования послужили коллекции грибов, собранные в 2011–2019 гг., а также сборы, хранящиеся в лаборатории микологии и фитопатологии Института биологии НАН КР. При идентификации грибов был использован стандартный для микологии метод световой микроскопии по анатомо-морфологическим признакам, а по необходимости применялся метод «влажной камеры». Названия таксонов грибов приведены в соответствии с базой данных интернет-ресурсов CABI Bioscience Database – <http://www.mycobank.org> (по состоянию на 01.03.2019), [www.indexfungorum.org](http://www.indexfungorum.org) (по состоянию 01.03.2019) и согласно 10-му изданию словаря грибов Айнсворта и Бисби (P.M. Kirk, P.F. Cannon, 2008) [2]. Названия растений приведены в соответствии с Кадастром флоры Кыргызстана [3]. Видовой состав лекарственных растений был определен с использованием литературы [4, 5]. Собранный материал хранится в гербарном фонде Института биологии НАН КР (FRU).

#### Результаты исследования и их обсуждение

В 2011–2019 гг. нами было впервые проведено микологическое обследование бассейна реки Джумгал. Во флоре бассейна реки Джумгал среди видового разнообразия растений встречаются имеющие лечебное значение. Многие из них применяются как в официальной, так и в народной медицине. В результате на дикорастущих лекарственных растениях нами зарегистрировано 119 видов фитопатогенных микромицетов на представителях 76 видов (таблица).

Из таблицы следует, что на представителях 76 видов лекарственных растений выявлено 119 видов паразитных грибов. Среди лекарственных растений более поражаемыми грибными болезнями являются представители рода *Artemisia* L. из семейства Compositae – 19 видов из 4 родов. *Artemisia dracuncululus* L. сильно поражается мучнистой росой *Leveillula lactucarum* Durrieu &

Rostam. и ржавчиной *Puccinia dracunculina* Fahrenh. На *A. vulgaris* L. отмечены мучнистая роса *Golovinomyces artemisiae* (Grev.) V.P. Heluta, ржавчинные грибы *Puccinia artemisiicola* P. Syd. & Syd. *Puccinia cinaea* Tranzschel & Kuprev. и вызывающие пятнистость листьев: *Phyllosticta ferruginea* (Sacc.) Kalymb., *Ragnhildiana ferruginea* (Fuckel) U. Braun. На видах *Taraxacum* зарегистрированы три вида: ржавчина *Puccinia taraxaci* Plowg. и во влажных условиях часто мучнистая роса *Alphitomorpha fuliginea* Schltdl. и *Ramularia inaequale* (Preuss) U. Braun. По одному виду обнаружены на *Tussilago farfara* L. – *Ramularia brunnea* Peck. и на *Anthemis ruthenica* Bieb. – *Heteropatella lacera* Fuckel.

На представителях семейства Cheporodiaceae обнаружено 13 видов. На *Thalictrum minus* L. отмечены 4 вида: *Aecidium thalictri-flavi* (DC.) G. Winter., *Pseudocercospora thalictri* U. Braun., *Passalora thalictrina* (Karak.) U. Braun & Melnik., *Macrosporium clematidis* Peck., на *Delphinium confusum* Popov. – 3: *Erysiphe aquilegiae* DC., *Septoria delphinella* Sacc., *Cladosporium subcompactum* Sacc. С двумя видами грибов выявлены *Anemone protracta* (Ulbr.) Juz. – *Paraconiothyrium fuckelii* (Sacc.) Verkley & Gruyter, *Puccinia resecta* Syd. & P. Syd. и *Ranunculus polyrhizos* Steph. – *Gladosporium aecidiicola* Thüm., *Puccinia ranunculi* Blytt. По одному виду зарегистрированы: на *Kochia melanoptera* Bunge. – *Neoramularia kochiae* (Woron.) U. Braun. и на *Clematis orientalis* L. – *Phoma vitalbae* Pass.

На представителях семейства Labiatae отмечены 12 видов микромицетов. На *Phlomis pratensis* (Kar. et Kir.) Adylov. et al. наиболее часто встречается ржавчинный гриб *Puccinia phlomidis* Thüm., из других групп *Neoerysiphe galeopsidis* (DC.) U. Braun., *Septoria phlomidis* Bondartsev & Lebedeva. На *Leonurus turkestanicus* V. Krecz. et Kuprian. обнаружены 3 вида: *Sphaerellopsis filum* (Biv.) B. Sutton., *Puccinia stipina* Tranzschel., *Ramularia lamii* Fuckel. С двумя видами грибов зарегистрированы: *Ziziphora clinopodioides* Lam. – *Puccinia ziziphorae* P. Syd. & Syd. *Pleospora tomentosa* Wehm. и *Mentha arvensis* L. – *Erysiphe biocellata* Ehrenb., *Puccinia menthae* Pers.

На растениях семейства Leguminosae обнаружено 10 видов грибов. Наиболее вредоносны на видах *Trifolium*: мучнистая роса *Erysiphe trifolii* Grev. и ржавчинные грибы *Uromyces trifolii* Fuckel. на *Trifolium pratense* L. и *U. nerviphilus* (Grognot) Hotson. на черешках *Trifolium repens* L., вызывая их

искривление. Чёрную и другие пятнистости листьев вызывают *Polythrincium trifolii* Kunze., *Pseudopeziza trifolii* (Biv.) Fuckel. На *Glycyrrhiza glabra* L. Отмечена *Uromyces glycyrrhizae* (Rabenh.) Magnus., на *Melilotus albus* Medik. – *Stagonospora meliloti* (Lasch ex Rabenh.) Petr.

На представителях семейства Rosaceae зарегистрировано 8 видов микромицетов. На *Rosa platyacantha* Schrenk. Встречаются *Diplocarpon rosae* (Lib.) F.A. Wolf., *Phrag-*

*midium devastatrix* Sorokīn., *P. tuberculatum* Jul. Müll., *Cylindrosporium rosae* Vasyag., на *Rosa kokanica* (Regel) Juz. – *Podospaera fuliginea* (Schltdl.) U. Braun & S. Takam. На *Crataegus sanguinea* Pall. обнаружены *Entomosporium thumenii* (Cooke) Sacc. и *Gymnosporangium clavariaeforme* (Wulfen) DC. По одному виду грибов выявлено на *Mallus* sp. – *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter. и на *Sorbus tianschanica* Rupr. – *Gymnosporangium turkestanicum* Tranzschel.

Распределение микромицетов на лекарственных растениях

Лекарственные растения			Микромицеты	
Семейство	Вид	Вид	Род	Вид
Pinaceae	<i>Picea schrenkiana</i>	1	2	2
Ephedraceae	<i>Ephedra intermedia</i>	1	1	1
Liliaceae	<i>Allium oreophilum</i>	1	2	3
Betulaceae	<i>Betula tianschanica</i>	1	1	1
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	1	1	1
Polygonaceae	<i>Rumex stenophyllus</i>	1	1	1
	<i>Polygonum aviculare</i>	5	5	6
Chenopodiaceae	<i>Kochia melanoptera</i>	1	1	1
	<i>Delphinium confusum</i>	1	3	3
	<i>Anemone protracta</i>	1	2	2
	<i>Clematis orientalis</i>	1	1	1
	<i>Ranunculus polyrhizos</i>	1	2	2
	<i>Thalictrum minus</i>	1	4	4
Berberidaceae	<i>Berberis nummularia</i>	3	5	5
Papaveraceae	<i>Papaver croceum</i>	2	2	2
Cruciferae	<i>Barbarea vulgaris</i>	2	2	2
	<i>Armoracia rusticana</i>	1	1	1
	<i>Cardaria repens</i>	1	1	1
	<i>Lepidium latifolium</i>	1	1	1
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	1	1	1
Saxifragaceae	<i>Ribes heterotichum</i>	1	1	1
Rosaceae	<i>Sorbus tianschanica</i>	1	1	1
	<i>Crataegus sanguinea</i>	1	2	2
	<i>Rosa platyacantha</i>	3	4	5
Leguminosae	<i>Melilotus albus</i>	1	1	1
	<i>Trifolium pratense</i>	2	4	5
	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	1	1	1
	<i>Hedysarum songoricum</i>	2	2	2
	<i>Lathyrus pratensis</i>	1	1	1
	<i>Peganum harmala</i>	1	1	1
Zygophyllaceae	<i>Dictamnus angustifolius</i>	1	1	1
Rutaceae	<i>Euphorbia transchelii</i>	1	2	2
Euphorbiaceae	<i>Hippophae rhamnoides</i>	1	2	2
Elaeagnaceae	<i>Aegopodium podagraria</i>	2	2	2
Umbelliferae	<i>Conioselinum tataricum</i>	1	1	1
	<i>Angelica komarovii</i>	2	5	5
	<i>Convolvulus arvensis</i>	1	1	1
Convolvulaceae	<i>Myosotis alpestris</i>	1	1	1

Окончание таблицы				
Лекарственные растения			Микромицеты	
Семейство	Вид	Вид	Род	Вид
Boraginaceae	<i>Cynoglossum viridiflorum</i>	2	2	2
	<i>Lindelofia stylosa</i>	1	1	1
	<i>Phlomooides pratensis</i>	2	3	3
Labiatae	<i>Leonuru turkestanicus</i>	2	3	3
	<i>Salvia deserta</i>	1	1	1
	<i>Ziziphora clinopodioides.</i>	1	2	2
	<i>Thymus diminutus</i>	1	1	1
	<i>Mentha arvensis</i>	1	2	2
Solanaceae	<i>Hyosyamus nigra</i>	1	1	1
Scrophulariaceae	<i>Rhinanthus songaricus</i>	1	1	1
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i>	1	2	2
Rubiaceae	<i>Galium verum</i>	2	5	5
Dipsacaceae	<i>Scabiosa alpestris</i>	1	1	1
Campanulaceae	<i>Campanula glomerata</i>	1	1	1
Compositae	<i>Anthemis ruthenica</i>	1	1	1
	<i>Artemisia dracunculus</i>	2	5	7
	<i>Tussilago farfara</i>	1	1	1
	<i>Ligularia alpigena</i>	1	3	3
	<i>Arctium leiospermum</i>	1	1	1
	<i>Cirsium esculentum</i>	1	1	1
	<i>Acroptilon repens</i>	1	1	1
	<i>Taraxacum leucanthum</i>	2	3	3
29	60 родов	76 видов	108	119

Микромицеты, поражающие лекарственные растения из семейства Polygonaceae, представлены семью видами. Распространена повсеместно на *Polygonum aviculare* L. мучнистая роса *Erysiphe polygoni* DC. и ржавчина *Uromyces polygoni* (Pers.) Fuckel. На *Polygonum nitens* (Fisch. et C.A. Mey) V. Petrov ex Kom. – *Puccinia polygoni-vivipari* P. Karst, на *P. songoricum* Schrenk. – *P. polygoni-amphibii* Pers. и на *P. alpinum* All. (*P. undulatum* (Murr.) A. et D. Love.) – *Ramularia rufomaculans* Peck.

Из семейства Berberidaceae на видах *Berberis*: *B. nummularia* Bunge. и *B. sphaerocarpa* Kar. et Kir. отмечены пять видов: мучнистая роса *Erysiphe berberidis* (DC.) Lév. и ржавчина *Puccinia graminis* Pers. Пятнистость листьев вызывают *Leptostroma berberidis* (Thüm. & G. Winter) Nannf., *Ramularia berberidis* (Cooke) U. Braun., *Sphaerulina berberidis* (Niessl) Quaedvl.

На видах *Galium* из семейства Rubiaceae зарегистрировано 5 видов микромицетов: на *G. verum* L. мучнистая роса *Neoerysiphe galii* (S. Blumer) U. Braun. и из других групп *Mazzanti agalii* (Fr.) Mont., *Leptothurium mossolowii* Henn. На *G. turkestanicum*

*Pobed.* – *Puccinia rubefaciens* Johanson. и *Septoria cruciatae* Roberge ex Desm.

С двумя видами зарегистрированы роды: на *Hippophae rhamnoides* L. (Elaeagnaceae) распространена мучнистая роса *Phyllactinia hippophaes* Thüm. ex S. Blumer. и парша *Fusicladium hippophaes* Vasyag. & Byzova. *Plantago major* L. (Plantaginaceae) сильно поражается мучнистой росой *Erysiphe sordida* L. Junell. и отмечена *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link. На *Barbarea vulgaris* (Cruciferae) переноспорный гриб *Albugo candida* и из других групп *Ramularia armoraciae*.

По одному виду грибов обнаружено на представителях следующих родов: *Ephedra intermedia* Schrenk et C.A. Mey (Ephedraceae) – *Coniothyrium ephedricola* Kravtzev., *Betula tianschanica* Rupr. (Betulaceae) – *Melampsorium betulae* Arthur., *Urtica dioica* L. (Urticaceae) – *Cyathocula cyathoidea* (Bull.) Thüm., *Ribes heterotrichum* C.A. Mey. (Saxifragaceae) – *Gloeosporidiella variabilis* (Laubert) Nannf., *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) – *Leveillula taurica* (Lev.) G. Arnaud., *Hyoscyamus niger* L. (Solanaceae) – *Golovinomyces hyosyami* (R.Y. Zheng & G.Q. Chen) V.P. Heluta.

**Заключение**

В результате наших исследований в бассейне реки Джумгал в период с 2011 по 2019 г. на 76 видах лекарственных растений зарегистрировано 119 паразитных грибов. Более поражаемыми являются представители родов: *Artemisia* – 7 видов, *Polygonum* – 6, *Rosa* – 5, *Berberis* – 5, *Galium* – 5, *Thalictrum* – 4, *Delphinium* – 3, *Phlomis* – 3, *Leonurus* – 3, *Ligularia* – 3. На представителях остальных семейств растений выявлены один-два вида микромицетов.

**Список литературы**

1. Ионов Р.Н. Типы травяного растительного покрова Тянь-Шаня и Алая Кыргызстана. СПб.: НАН КР Биолого-почвенный институт, 2014. 263 с.
2. Кирк П.М. Кэннон П.Ф., Дэвид Дж.К., Сталпорс Дж.А. Эйнсворт и Бисби словарь грибов. 10-е изд. Каби, 2008. 771 с.
3. Лазыков Г.А., Султанова Б.А. Кадастр флоры Кыргызстана. Сосудистые растения. Бишкек: НАН КР, 2014. 126 с.
4. Айзенман С., Зауров Д.Э., Шалпыков К.Т., Стурве Л. Лекарственные растения Средней Азии: Узбекистан и Кыргызстан. США: Изд. Шпрингер, 2012. 397 с.
5. Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Кубентаев С.А. Перечень лекарственных растений казахстанского Алтая. Риддер: Изд. «Медиа-Альянс», 2015. 147 с.

УДК 57.04:612.176.4:612.017.2

## ИЗМЕНЕНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ПРЕДЭКЗАМЕНАЦИОННОГО СТРЕССА

Репалова Н.В., Авдеева Е.В.

*ФГБОУ ВО «Курский Государственный медицинский университет Минздрава России»,  
Курск, e-mail: repalovanv@kursksmu.net*

Иностранные студенты, приезжая в Россию, вынуждены проходить сложный процесс адаптации, который включает в себя множество факторов – как социальных, так и физиологических. Адаптация иностранных студентов к образовательному процессу отечественных вузов является наиболее сложной. Это связано со значительными отличиями российской системы образования от зарубежных образовательных систем, заключающимися в различных формах преподавания и контроля знаний. Именно поэтому целью данной работы стало изучение изменений адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы у иностранных студентов в условиях предэкзаменационного стресса. Исследование проходило в 3 этапа. Первый этап осуществлялся в межсессионный период, когда у студентов наблюдается относительная эмоциональная стабильность. Второй этап исследования проходил в день предэкзаменационного тестирования непосредственно перед тестом. Третий этап проходил в день предэкзаменационного тестирования сразу после сдачи теста. Для реализации поставленной цели были рассчитаны индексы функциональных изменений по Р.М. Баевскому, адаптационный потенциал по Л.А. Коневских, коэффициент выносливости по формуле Кваса. Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени адаптации сердечно-сосудистой системы иностранных студентов в условиях предэкзаменационного стресса. При этом существуют индивидуальные этнические особенности изменения состояния регуляторных систем.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система (ССС), адаптация, предэкзаменационный стресс, функциональное состояние, индекс функциональных изменений (ИФИ), адаптационный потенциал (АП), коэффициент выносливости (КВ), иностранные студенты

## CHANGE IN THE ADAPTIVE POTENTIAL OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN FOREIGN STUDENTS UNDER PRE-EXAMINATION STRESS

Repalova N.V., Avdeyva E.V.

*Kursk State Medical University Health Ministry of Russia, Kursk, e-mail: repalovanv@kursksmu.net*

Foreign students arriving in Russia are forced to go through a complex process of adaptation, which includes many factors, both social and physiological. The adaptation of foreign students to the educational process of domestic universities is the most difficult. This is due to the significant differences between the Russian education system and foreign educational systems, which consist in various forms of teaching and knowledge control. That is why the purpose of this work was to study changes in the adaptive potential of the cardiovascular system in foreign students under conditions of pre-examination stress. The study took place in 3 stages. The first stage was carried out during the intersessional period, when the students showed relative emotional stability. The second stage of the study took place on the day of the pre-examination testing just before the test. The third stage took place on the day of passing the pre-examination testing immediately after passing the test. To achieve this goal, the index of functional changes according to R.M. Baevsky, adaptation potential according to L.A. Konevsky, and the coefficient of endurance according to the Kvas formula were calculated. The results obtained allow us to speak about a high degree of adaptation of the cardiovascular system of foreign students under conditions of pre-examination stress. At the same time, there are individual ethnic characteristics of changes in the state of regulatory systems.

**Keywords:** cardiovascular system (CVS), adaptation, pre-examination stress, functional state, index of functional changes (IFI), adaptive potential (AP), endurance coefficient (EC), foreign students

Адаптация студентов к учебе в вузе является наиболее сложным видом адаптации. Это связано, прежде всего, с новыми условиями обучения и структурой учебного процесса, отличающейся от системы среднего образования [1]. Смена привычной окружающей среды, в которой сложившиеся стереотипы поведения оказываются мало-результативными или нерезультативными, является стартовым механизмом для начала адаптационного процесса. Это приводит к постоянному преодолению возникающих затруднений и формированию новых поведенческих моделей. Как следствие, процесс

адаптации может вызвать перенапряжение механизмов регуляции физиологических систем организма [2, 3].

Экзаменационная сессия является наиболее травмирующим фактором, приводящим к срыву процесса адаптации [4]. Накопленные многолетние экспериментальные факты показывают негативное влияние экзаменационного стресса на все системы организма студентов, в том числе и сердечно-сосудистую систему (ССС) [4]. В ходе многочисленных исследований выявлены нарушения вегетативной регуляции ССС, увеличение частоты сердечных сокращений

(ЧСС), повышение артериального давления (АД), увеличение как мышечного, так и психоэмоционального напряжения [5]. Все это является следствием увеличения воздействия отрицательных факторов в период подготовки к экзамену, таких как информационные перегрузки, гиподинамия с повышенной статической нагрузкой, уменьшение времени сна, эмоциональные переживания, связанные с возможным неудачным результатом на экзамене, и т.д. [4].

Иностранцы студенты, приезжая в Россию, вынуждены проходить сложный процесс адаптации, который включает в себя множество факторов – как социальных, так и физиологических [6]. Адаптация иностранных студентов к образовательному процессу отечественных вузов является наиболее сложной [7, 8]. Это связано со значительными отличиями российской системы образования от зарубежных образовательных систем, заключающимися в различных формах преподавания и контроля знаний.

Цель исследования: изучить изменение адаптационного потенциала ССС у иностранных студентов второго курса международного медицинского института (ММИ) Курского Государственного медицинского университета (КГМУ) в условиях предэкзаменационного стресса.

#### Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании приняли участие 162 студента второго курса ММИКГМУ из Шри-Ланки (15), Нигерии (25), Бразилии (41), Индии (32), Малайзии (39), Мальдив (10). В исследовании участвовали студенты обоего пола в возрасте от 19 до 26 лет. Исследование выполняли в 3 этапа. Первый этап проходил в межсессионный период, характеризующийся относительной эмоциональной стабильностью студентов. Второй этап исследования проходил непосредственно перед сдачей предэкзаменационного теста. Третий этап проходил сразу после сдачи предэкзаменационного теста. Все измерения проводились в первой половине дня в учебной аудитории.

Исследования выполнялись по общепринятым методикам [9, 10]. В начале первого этапа всем участникам эксперимента определили рост и вес. На каждом этапе исследования определялись ЧСС, систолическое артериальное давление (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД). ЧСС определяли пальпаторно на левой лучевой артерии за 1 минуту. Артериальное давление регистрировали по методу Короткова.

ПД высчитывалось как разница между САД и ДАД. Норма ПД равна 30–50 мм рт.

ст. Увеличение или уменьшение ПД показывает на отклонения в функционировании сердца и сосудов.

Изменение адаптации сердечно-сосудистой системы оценивали путем расчета индекса функциональных изменений (ИФИ) по формуле Р.М. Баевского:

$$\text{ИФИ} = 0,011 \times \text{ЧСС} + 0,014 \times \text{САД} + 0,008 \times \text{ДАД} + 0,009 \times m - 0,009 \times P - 0,27,$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; P – рост;

m – масса тела;

B – возраст.

Величина ИФИ измерялась в баллах. Адаптация считалась удовлетворительной при ИФИ до 2,60 балла. Напряжение механизмов адаптации регистрировалось при ИФИ от 2,60 до 3,10 балла. Неудовлетворительной адаптация считалась при ИФИ от 3,10 до 3,50 балла. Срыв адаптации регистрировался при ИФИ, равном 3,50 балла и выше.

Адаптационный потенциал определяли по уравнению Л.А. Коневских:

$$\text{АП} = 1,238 + 0,09 \times \text{ЧП},$$

где АП – адаптационный потенциал в условных единицах (баллах);

ЧП – частота пульса, ударов в минуту;

1,238 и 0,09 – коэффициенты уравнения.

АП считался удовлетворительным при значении менее 7,2. При АП от 7,21 до 8,24 балла регистрировалась напряжение механизмов адаптации, при АП от 8,25 до 9,85 балла регистрировалась неудовлетворительная адаптация. При АП более 9,86 балла фиксировался срыв механизмов адаптации.

Выносливость ССС определяли путем расчета коэффициента выносливости (КВ) по формуле Кваса:

$$\text{КВ} = (\text{ЧСС} \times \text{САД} \times 10) / \text{ПД},$$

где КВ – коэффициент выносливости;

ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин; САД – систолическое артериальное давление, мм рт. ст.;

ПД – пульсовое давление, мм рт. ст.

Полученные результаты трактовали следующим образом: нормальное значение показателя – от 1200 до 1600, увеличение показателя говорит об ослаблении функции сердечно-сосудистой системы, уменьшение – об усилении функции.

При статистической обработке данных в программе Microsoft Excel 2010 рассчитывали среднее значение, величину стандартного отклонения. Статистические разли-

чия между экспериментальными группами оценивали при помощи t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Средний возраст испытуемых составил  $21,6 \pm 0,28$  года. Средняя масса тела составила  $63,7 \pm 2,2$  кг. Средний рост составил  $165 \pm 1,3$  см.

В табл. 1 представлена динамика показателей ССС в ходе проведения эксперимента.

Как видно из табл. 1, систолическое и диастолическое давление статистически значимо не изменилось. Однако произошло статистически значимое ( $p < 0,001$ ) увеличение ПД до и после написания предэкзаменационного теста. Кроме того, в период после написания предэкзаменационного теста произошло статистически значимое увеличение ЧСС ( $p < 0,05$ ). Данные результаты могут свидетельствовать об увеличении систолического объема крови, выбрасываемо-

го желудочком в аорту в фазу систолы в период до написания предэкзаменационного теста, и увеличении сопротивления аорты во время систол в период после написания предэкзаменационного теста [11]. Характерно, что при этом ПД и ЧСС оставались в пределах физиологической нормы.

Изменение динамики показателей сердечно-сосудистой системы у студентов, разделенных по этническому признаку, были неоднозначным (табл. 2). Как видно из табл. 2, изменения показателей ССС у студентов из Индии не носили статистически значимого характера. У студентов из Нигерии и Мальдив статистически значимо ( $p < 0,01$ ) ПД увеличивалось перед написанием теста. При этом у студентов из Нигерии показатели ПД вышли за пределы физиологической нормы. У студентов из Бразилии увеличилось ЧСС ( $p < 0,001$ ) до и после написания предэкзаменационного теста. У студентов из Шри-Ланки увеличилось САД ( $p < 0,001$ ) во II и III периоды.

Таблица 1

Изменение показателей сердечно-сосудистой системы в ходе проведения эксперимента ( $M \pm m$ )

Период исследования	ЧСС, уд/мин	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ПД, мм рт. ст.
I этап исследования	$71,0 \pm 0,8$	$112,0 \pm 1,2$	$72,2 \pm 1,1$	$40,0 \pm 0,2$
II этап исследования	$70,7 \pm 0,4$	$113,6 \pm 1,2$	$70,8 \pm 0,7$	$43,1 \pm 0,3^{***}$
III этап исследования	$73,1 \pm 0,5^*$	$114,4 \pm 1,1$	$72,6 \pm 0,9$	$42,1 \pm 0,5^{***}$

Примечание: \* –  $p < 0,05$  по сравнению с I этапом исследования, \*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования.

Таблица 2

Изменение показателей сердечно-сосудистой системы у участников эксперимента, разделенных по этническому признаку ( $M \pm m$ )

Показатели ССС	Студенты из Шри-Ланки	Студенты из Нигерии	Студенты из Мальдив	Студенты из Малайзии	Студенты из Индии	Студенты из Бразилии
I ЧСС, уд/мин	$62,9 \pm 1,7$	$70,2 \pm 3,2$	$68,9 \pm 1,4$	$75,3 \pm 2,0$	$74,4 \pm 1,8$	$82,5 \pm 2,7$
II ЧСС, уд/мин	$63,0 \pm 2,0$	$71,5 \pm 0,9$	$70,0 \pm 1,4$	$70,6 \pm 0,6$	$73,0 \pm 1,4$	$70,1 \pm 1,0^{***}$
III ЧСС, уд/мин	$67,5 \pm 2,5$	$75,5 \pm 1,25$	$73,2 \pm 1,8$	$72,0 \pm 1,0$	$76,5 \pm 1,1$	$71,2 \pm 0,9^{***}$
I САД, мм рт. ст.	$105,0 \pm 1,2$	$117,3 \pm 4,2$	$110,0 \pm 2,8$	$106,2 \pm 3,4$	$115,5 \pm 1,8$	$109,0 \pm 1,8$
II САД, мм рт. ст.	$110,0 \pm 1,0^{***}$	$116,0 \pm 2,8$	$113,6 \pm 3,6$	$112,4 \pm 2,2$	$123,0 \pm 3,8$	$117,4 \pm 4,7$
III САД, мм рт. ст.	$110,0 \pm 0,1^{***}$	$117,3 \pm 3,2$	$113,1 \pm 3,7$	$110,2 \pm 2,5$	$126,0 \pm 6,2$	$115,7 \pm 3,3$
I ДАД, мм рт. ст.	$68,0 \pm 2,9$	$74,7 \pm 2,6$	$70,3 \pm 2,3$	$66,7 \pm 2,3$	$73,6 \pm 1,5$	$71,5 \pm 1,8$
II ДАД, мм рт. ст.	$70,5 \pm 2,6$	$65,8 \pm 1,3$	$70,1 \pm 2,1$	$72,9 \pm 1,6^*$	$77,3 \pm 2,4$	$72,7 \pm 1,4$
III ДАД, мм рт. ст.	$67,5 \pm 2,5$	$70,5 \pm 0,9$	$72,5 \pm 1,1$	$73,1 \pm 1,8^*$	$80,0 \pm 3,1^*$	$74,0 \pm 3,4$
I ПД, мм рт. ст.	$37,0 \pm 4,3$	$42,5 \pm 2,3$	$33,0 \pm 2,3$	$39,5 \pm 1,6$	$41,9 \pm 2,2$	$37,4 \pm 2,3$
II ПД, мм рт. ст.	$39,5 \pm 5,5$	$52,8 \pm 2,7^{**}$	$43,5 \pm 2,8^{**}$	$39,5 \pm 1,5$	$45,7 \pm 2,5$	$44,7 \pm 3,9$
III ПД, мм рт. ст.	$41,0 \pm 6,0$	$46,7 \pm 2,9$	$39,9 \pm 2,9$	$37,6 \pm 2,0$	$46,2 \pm 5,1$	$41,7 \pm 2,2$

Примечание: I – I этап исследования, II – II этап исследования, III – III этап исследования.  
\* –  $p < 0,05$  по сравнению с I этапом исследования, \*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования, \*\*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования.

**Таблица 3**

Изменение адаптации сердечно-сосудистой системы у участников эксперимента ( $M \pm m$ )

Период исследования	ИФИ	АП	КВ
I этап исследования	$1,72 \pm 0,20$	$7,12 \pm 0,05$	$1530 \pm 24,06$
II этап исследования	$2,06 \pm 0,04$	$7,59 \pm 0,04^{**}$	$1943,3 \pm 34,7^{***}$
III этап исследования	$2,13 \pm 0,04^*$	$7,82 \pm 0,05^{**}$	$2070,4 \pm 29,4^{***}$

Примечание: \* –  $p < 0,05$  по сравнению с I этапом исследования, \*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования, \*\*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования.

**Таблица 4**

Изменение адаптации сердечно-сосудистой системы у участников эксперимента, разделенных по этническому признаку ( $M \pm m$ )

Показатели адаптации	Студенты из Шри-Ланки	Студенты из Нигерии	Студенты из Мальдив	Студенты из Малайзии	Студенты из Индии	Студенты из Бразилии
I ИФИ	$1,68 \pm 0,15$	$1,78 \pm 0,31$	$1,74 \pm 0,40$	$1,65 \pm 0,10$	$1,71 \pm 0,24$	$1,8 \pm 0,34$
II ИФИ	$1,8 \pm 0,01$	$2,04 \pm 0,06$	$2,11 \pm 0,1$	$2,05 \pm 0,04$	$2,54 \pm 0,14^{**}$	$2,06 \pm 0,1$
III ИФИ	$1,9 \pm 0,01$	$2,11 \pm 0,06$	$2,18 \pm 0,01$	$2,03 \pm 0,04$	$2,57 \pm 0,17^{**}$	$2,12 \pm 0,04$
I АП	$7,11 \pm 0,03$	$7,13 \pm 0,04$	$7,12 \pm 0,02$	$7,21 \pm 0,06$	$7,01 \pm 0,03$	$7,18 \pm 0,05$
II АП	$7,18 \pm 0,29^*$	$7,7 \pm 0,05^{***}$	$7,4 \pm 0,21$	$7,5 \pm 0,05^{***}$	$7,8 \pm 0,04^{***}$	$8,1 \pm 0,03^{***}$
III АП	$7,57 \pm 0,29^{***}$	$8,04 \pm 0,11^{***}$	$7,8 \pm 0,18^{***}$	$7,9 \pm 0,07^{***}$	$8,1 \pm 0,03^{***}$	$7,7 \pm 0,06^{***}$
I КВ	$1518 \pm 18,6$	$1545 \pm 68,3$	$1594 \pm 83,3$	$1536 \pm 52,3$	$1478 \pm 52,6$	$1522 \pm 49,5$
II КВ	$1775 \pm 9,5^{***}$	$1744 \pm 88,5$	$1829 \pm 97,3$	$2086 \pm 83,8^{***}$	$2101 \pm 47,6^{***}$	$2081 \pm 77,9^{***}$
III КВ	$2007 \pm 17,6^{***}$	$1950 \pm 63,7^{***}$	$2028 \pm 99,6^{***}$	$2213 \pm 48,3^{***}$	$1843 \pm 48,1^{***}$	$1918 \pm 59,5^{***}$

Примечание: I – I этап исследования, II – II этап исследования, III – III этап исследования. \* –  $p < 0,05$  по сравнению с I этапом исследования, \*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования, \*\*\* –  $p < 0,001$  по сравнению с I этапом исследования.

В табл. 3 представлены результаты изменения адаптации сердечно-сосудистой системы у участников эксперимента. ИФИ, в сути, является интегральным показателем, который отражает многогранную систему функциональных взаимодействий, характеризующих уровень функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Также ИФИ позволяет количественно оценить уровень здоровья [1]. Следовательно, по значениям ИФИ определяется функциональное состояние человека. Как видно из табл. 3, ИФИ статистически значимо увеличивался ( $p < 0,05$ ) только после сдачи предэкзаменационного теста, однако остался при этом в пределах физиологической нормы. В то же время произошло увеличение АП ( $p < 0,01$ ) как перед написанием, так и после написания предэкзаменационного теста. Значения АП находились в пределах от 7,21 до 8,24 балла, что свидетельствует о напряжении механизмов адаптации.

Выносливость также является многофункциональным свойством организма человека, которое интегрирует в себе многочисленные процессы, происходящие на различных физиологических уровнях:

от клеточного и до всего организма в целом. Ведущая роль в проявлениях выносливости принадлежит сердечно-сосудистой, дыхательной и центральной нервной системам. С усилением утомления, как правило, снижается эффективность функционального состояния ССС. Из табл. 3 видно, что произошло значительное увеличение ( $p < 0,001$ ) КВ, что указывает на ослабление функции сердечно-сосудистой системы.

Изменение динамики показателей ССС у студентов, разделенных по этническому признаку, представлено в табл. 4. ИФИ во всех этнических группах в ходе эксперимента увеличивался от этапа к этапу, но при этом оставался ниже 2,6 балла, что можно расценивать как достаточно высокий уровень функциональной стабильности ССС в условиях предэкзаменационного стресса. Однако следует отметить, что студенты из Шри-Ланки имеют самый высокий уровень функциональной стабильности, а студенты из Индии – самый низкий (III ИФИ достиг верхней границы нормы).

В то же время во всех исследуемых группах произошло статистически значимое увеличение АП, что свидетельствует о напряже-

нии механизмов адаптации. Самые низкие адаптационные возможности в межсессионный период показали студенты из Малайзии и Бразилии ( $7,21 \pm 0,06$  и  $7,18 \pm 0,05$  соответственно). У студентов из Мальдив АП статистически значимо увеличился только после написания теста. АП у студентов из Бразилии был выше перед написанием теста, чем после. Наибольшее напряжение механизмов адаптации после написания предэкзаменационного теста произошло у студентов из Нигерии и Индии.

КВ перед написанием теста статистически значимо не повышался у студентов из Нигерии и Мальдив. Однако после написания предэкзаменационного теста во всех исследуемых группах произошло увеличение КВ ( $p < 0,001$ ). Наибольшее утомление ССС произошло у студентов из Мальдив и Малайзии. КВ у студентов из Бразилии был выше перед написанием теста, чем после.

### Заключение

Анализ динамики физиологических показателей функционального состояния организма студентов ММИ в период до и после написания предэкзаменационного теста показывает на изменение состояния регуляторных систем, отражающих напряжение адаптационных механизмов. Происходит ослабление функции ССС, но функциональное состояние при этом остается в пределах физиологической нормы, что свидетельствует о достаточно высокой степени адаптации сердечно-сосудистой системы иностранных студентов в условиях предэкзаменационного стресса. При этом существуют индивидуальные этнические особенности изменения состояния регуляторных систем организма.

### Список литературы

1. Багнетова Е.А., Кавеева И.А. Сравнительный анализ показателей функционального и психологического состояния старшеклассников и студентов в аспекте факторов риска учебной среды // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8949> (дата обращения: 15.04.2021).
2. Bakhchina A.V., Polevaya S.A., Parin S.B. Vegetative correlates of cognitive processes in stress situation. *European Scientific Journal*. 2013. No. 3. P. 277–280.
3. McCraty R., Shaffer F. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Selfregulatory Capacity, and Health Risk. *Global advances in health and medicine*. 2015. No. 4(1). P. 46–61. DOI: 10.7453/gahmj.2014.073.
4. Токаева Л.К., Павленкович С.С. Влияние экзаменационного стресса на психоэмоциональный статус и функциональное состояние сердечно-сосудистой системы первокурсников // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6054> (дата обращения: 15.04.2021).
5. Ванюшин Ю.С., Хайруллин Р.Р. Компенсаторно-адаптационные реакции кардиореспираторной системы в онтогенезе при функциональных нагрузках // Наука и спорт: современные тенденции. 2015. № 7(2). С. 71–77.
6. Капезина Т.Т. Проблемы обучения иностранных студентов в российском вузе // Наука. Общество. Государство. 2014. № 1(5). С. 129–138.
7. Ключникова Е.В. Проблемы адаптации иностранных студентов в России // Вестник ТвГУ. Серия «Педагогика и психология». 2018. № 1. С. 133–140.
8. Ямщикова О.А. Актуальные проблемы обучения иностранных студентов в России: психолого-педагогический аспект // Сибирский психологический журнал. 2005. № 21. С. 89–93.
9. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 235 с.
10. Коневских Л.А., Оранский И.Е., Лихачева Е.И. Способ оценки адаптационного потенциала // Патент РФ № 2314019. Патентообладатель Федеральное государственное учреждение науки «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2008.
11. Хурса Р.В. Пульсовое давление крови: роль в гемодинамике и прикладные возможности в функциональной диагностике // Медицинские новости. 2013. № 4. С. 13–18.

ОБЗОРЫ

УДК 577.3:57.087

**БИОСЕНСОРЫ ГЛЮКОЗЫ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕАКЦИИ ЕЕ  
ОКИСЛЕНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ CU, ОКСИДОВ МЕДИ,  
ИХ СПЛАВОВ/КОМПОЗИТОВ: КРАТКИЙ ОБЗОР**

<sup>1</sup>Махмутов Б.Б., <sup>2</sup>Ким Ю.А.

<sup>1</sup>*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, e-mail: bolat200@mail.ru;*

<sup>2</sup>*ФГБУН ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», Институт биофизики клетки РАН, Пуцзино, e-mail: yuk01@rambler.ru*

Измерение уровня глюкозы в крови проводится с использованием различных биосенсоров глюкозы для скрининга, диагностики и долгосрочного ведения пациентов с диабетом. Поскольку распространенность диабета растет, в течение последних нескольких десятилетий были разработаны новые биосенсорные технологии глюкозы. Ферментативные амперометрические биосенсоры глюкозы являются наиболее распространенными и коммерчески доступными устройствами в качестве глюкометров, которые широко изучались в течение последних нескольких десятилетий. Однако применение биологического материала, такого как ферменты, антитела и т.д., в ферментных датчиках ограничивается недостатками при их изготовлении и применении, сроком службы вследствие уменьшения и потери биологической активности фермента со временем. Обычно используемый фермент глюкозооксидаза имеет низкую стабильность, требует сложных процессов иммобилизации на поверхность сенсора, химическую и термическую нестабильность, что сужает область применения биосенсоров глюкозы на его основе. Биосенсоры глюкозы без ферментов обнаруживают глюкозу посредством ее окисления, катализируемого различными электрокатализаторами. Использование Cu в форме наноструктур увеличивает каталитическую активность, причем комбинация с другими металлами обеспечивает новые и еще лучшие катализаторы для химических превращений. Однако большинство наноструктурированных датчиков не способны катализировать окисление глюкозы в физиологических условиях pH и они эффективно работают в щелочной среде. В работе представлен краткий обзор, посвященный разработкам таких устройств на основе наночастиц Cu и их сплавов за 2020 г.

**Ключевые слова:** биосенсоры глюкозы, композитные катализаторы, наночастицы меди, биологические образцы

**BIOSENSORS OF GLUCOSE BASED ON THE REACTION  
OF ITS OXIDATION BY NANOPARTICLES OF CU, COPPER OXIDES  
AND THEIR ALLOYS/COMPOSITES: A BRIEF REVIEW**

<sup>1</sup>Makhmutov B.B., <sup>2</sup>Kim Yu.A.

<sup>1</sup>*L.N. Gumilev National Eurasian University, Nur-Sultan, e-mail: bolat200@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Institute of Cell Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Puschino, e-mail: yuk01@rambler.ru*

Blood glucose measurement is performed using a variety of glucose biosensors for the screening, diagnosis and long-term management of patients with diabetes. As the prevalence of diabetes increases, new biosensor glucose technologies have been developed over the past several decades. Enzymatic amperometric glucose biosensors are the most common and commercially available devices as glucometers and have been extensively studied over the past several decades. However, the use of biological material such as enzymes, antibodies, etc. in enzyme sensors is limited by disadvantages in their manufacture and use, service life due to a decrease and loss of the biological activity of the enzyme over time. The commonly used enzyme glucose oxidase has low stability, requires complex processes of immobilization on the sensor surface, chemical and thermal instability, which narrows the field of application of glucose biosensors based on it. Biosensors of glucose without enzymes detect glucose through its oxidation, catalyzed by various electrocatalysts. The use of Cu in the form of nanostructures increases the catalytic activity, and the combination with other metals provides new and even better catalysts for chemical transformations. However, most nanostructured sensors are unable to catalyze the oxidation of glucose under physiological pH conditions and they work effectively in an alkaline environment. The paper presents a brief review devoted to the development of such devices based on Cu nanoparticles and their alloys for the last 2020.

**Keywords:** glucose biosensors, composite catalysts, copper nanoparticles, biological samples

Основным диагностическим критерием диабета с уровнем HbA1c [1] является концентрация глюкозы в крови, самоконтроль которого признан ценным инструментом для лечения этого заболевания [2–4], осуществляемый рядом приборов, причем значительный вклад внесли и вносят ферментативные электрохимические биосенсоры [5–7]. Они обладают хорошей селективностью и чувствительностью [5], основаны

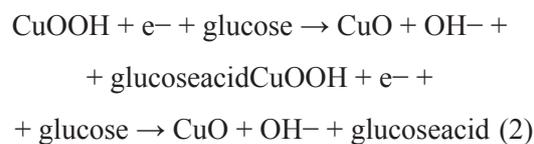
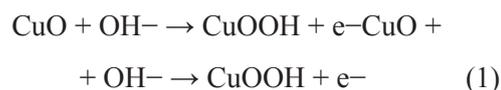
на использовании ферментов глюкозо-дегидрогеназы (GDH) или глюкозооксидазы (GOx) и широко используются в повседневной жизни для обнаружения глюкозы, коммерчески успешны в качестве глюкометров. Однако применение биологического материала, такого как ферменты, антитела и т.д., в ферментных датчиках ограничивается недостатками при их изготовлении [8], сроком службы, вследствие уменьшения [9]

и потери биологической активности фермента [10] со временем. Обычно используемый фермент глюкозооксидаза (GOD) имеет низкую стабильность, требует сложных процессов иммобилизации на поверхность сенсора [11], химическую и термическую нестабильность [12, 13], что сужает область применения биосенсоров глюкозы на ее основе.

Альтернативой ферментативным биосенсорам служат сенсоры без ферментов, непосредственно обнаруживающие глюкозу посредством ее окисления, для которых важно разработать подходящие эффективные катализаторы для обнаружения глюкозы в биологических образцах в физиологические условия, без какой-либо предварительной / последующей обработки [14, 15]. Основными преимуществами биосенсоров без ферментов являются их низкая стоимость, высокая стабильность, быстрый отклик и низкий предел обнаружения [16, 17]. Устройства непосредственно обнаруживают глюкозу [14, 17–19] и основаны на реакции ее окисления, катализируемой различными электрокатализаторами (рисунок), где атомы на поверхности материала действуют как электрокатализаторы, и в этом отношении большая роль отводится наноматериалам, таким как наночастицы Au, Ag, Ni, Cu, Co и т.д. [14], оксиды металлов (NiO, CuO, Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.) [17], сульфиды металлов [14, 17, 21] и др. В обзоре [17] обобщены достижения в разработках сенсоров глюкозы

на основе оксидов металлов (ZnO, CuO / Cu<sub>2</sub>O, NiO, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnO<sub>2</sub> и т.д.) и их нанокомпозитов. А в недавно опубликованных обзорах представлены и обсуждены последние разработки неферментативных электрохимических и оптических датчиков глюкозы, носимых и коммерчески доступных устройств, способных обнаруживать глюкозу в физиологических условиях pH [22], а также стратегии разработки биосенсоров на основе металлических наночастиц [23].

В этом кратком обзоре приведены некоторые работы за 2020 г. по разработкам неферментативных биосенсоров глюкозы на основе Cu, оксидов меди и их сплавов. Среди используемых материалов на основе оксидов металлов CuO считается одним из лучших материалов, что связывают с его природным изобилием, низкой стоимостью производства, высокой стабильностью и соответствующим окислительно-восстановительным потенциалом. Уравнения (1) и (2) описывают доминантные реакции, происходящие в сенсорах на основе CuO, чтобы обеспечить электроокисление глюкозы [24].



*Типы ферментативных и неферментативных электрохимически активных материалов в сенсорах глюкозы. Заимствовано из [20] с изменениями*

*Примеры разработок и характеристики биосенсоров глюкозы без ферментов на основе наноматериалов Cu, сплавов/композитов*

Материал датчика, на поверхности которого происходит окисление глюкозы, является важнейшим элементом неферментативных биосенсоров. Чаще всего используют такие материалы, как медь (Cu), никель (Ni), наночастицы меди (CuNPs), никеля (NiNPs), золота (AuNPs), платины (PtNPs) и серебра (AgNP), а также композиты. Медь и ее оксиды широко используются в качестве неферментных датчиков глюкозы из-за дешевизны, хорошей чувствительности и токового отклика в щелочных средах, а также из-за практичных и простых способов приготовления наноматериалов на их основе [25, 26]. Кроме того, они обладают высокой электрокаталитической активностью, экономичностью, нетоксичностью и стабильностью [27, 28]. А объединение меди с графеном может значительно повысить чувствительность неферментных глюкозных сенсоров, что, вероятно, связано с синергетическим эффектом между двумя компонентами, приводящим к увеличению электрокаталитической активной области и увеличению переноса электронов для окисления глюкозы [29]. На их основе разработан оригинальный гибкий датчик [30] на основе наночастиц Cu, закрепленных на лазерно-индуцированном графеновом композите (Cu NPs-LIG) с чувствительностью к глюкозе  $495 \text{ мкА мМ}^{-1} \text{ см}^{-2}$  (таблица). Как считают авторы разработки, датчик является привлекательным для носимых и имплантируемых неферментативных устройств для диагностики глюкозы следующего поколения.

В таблице приведены характеристики датчиков глюкозы для биосенсоров без ферментов, разработанные в 2020 г. на основе наночастиц Cu, оксидов меди, сплавов/ композитов.

Использование наночастиц Cu ограничено присущей ему склонностью к окислению в атмосферных условиях, что стимулировало исследования по разработке наночастиц на основе Cu с более сложными структурами, таких как ядро-оболочка Cu NP<sub>s</sub> или системы на основе оксидов меди. Так, датчик глюкозы на основе структуры ядро-оболочка Cu-CuO на подложке полианилина (PANI) (Cu-CuO / PANI / 316L) [31], приготовленной на электроде из нержавеющей стали 316L, показал очень высокую чувствительность ( $25,71 \text{ мА} \cdot \text{мМ}^{-1} \cdot \text{см}^2$ ). Однако надо учесть, что электрод был использован для обнаружения глюкозы в щелочной среде (0,1 M NaOH). Тем не менее результаты показали, что структура ядро-оболочка Cu-CuO

на полианилиновой подложке потенциально может быть применена в качестве материала электрода для неферментативного датчика глюкозы. Высокая чувствительность датчика на основе нанокompозита (Cu<sub>2</sub>O / Cu /) на углеродной ткани ( $6952 \text{ мА} \cdot \text{мМ}^{-1} \cdot \text{см}^2$ ) и сверхнизкий предел обнаружения глюкозы, как считают авторы [32], обусловлены синергетическим эффектом высокопроводящей углеродной ткани с несколькими каналами и более активными центрами в сочетании с каталитической активностью Cu<sub>2</sub>O/Cu.

Результаты электрохимических испытаний композитного катализатора Cu-Ni/CuO-NiO [33], синтезированного методом плазменной обработки раствора, показали высокую производительность для электрохимического датчика глюкозы с временем реакции ~1 с и очень низким пределом обнаружения (54 нМ). Считают, что метод имеет хорошую перспективу применения в области бесферментного обнаружения глюкозы.

В работе [34] был предложен метод изготовления пористых наноструктурированных электродов Cu для неферментативного определения глюкозы. Чтобы оптимизировать чувствительность электрода, были исследованы эффекты угла осаждения из паровой фазы и скорости вращения асимметричной подложки. Под контролем параметров осаждения GLAD были достигнуты высокая чувствительность  $1862 \text{ мкА мМ}^{-1}$ , с низким пределом обнаружения  $0,048 \text{ мкМ}$  и двумя широкими линейными диапазонами обнаружения  $10 \text{ мкМ}-2 \text{ мМ}$  и  $2-8 \text{ мМ}$  при потенциале 0,5 В. Учитывая высокую селективность, хорошую воспроизводимость и точное измерение уровней глюкозы в сыворотках человека, датчик, как предполагают авторы, имеет потенциал для крупномасштабного производства в качестве неферментативного глюкометра.

Коллективом авторов работы [35] представлена разработка биметаллической наноструктуры Co/Cu, имеющей повышенную электрокаталитическую активность по сравнению с реакциями для монометаллических структур Co или Cu, который был успешно применен для определения глюкозы в реальных образцах сыворотки крови человека. Биметаллические наночастицы с архитектурой ядро-оболочка могут обеспечить хорошую стабильность и превосходные электронные свойства по сравнению с другими типами наноструктур. Металлическая оболочка защищает основной металл от отравления и коррозии в среде брожения, в то время как деформационные и лигандные эффекты основного металла придают металлу оболочки свойства, благоприятные для электрокатализа.

Аналитические характеристики датчиков глюкозы на основе наночастиц Cu, оксидов меди, сплавов/композитов (примеры разработок по публикациям в 2020 г.)

Тип датчика	Чувствительность, $\mu\text{A} \times \text{mM}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$	Предел обнаружения (LOD), $\mu\text{M}$	Линейный диапазон обнаружения	Литература
Датчик на основе наночастиц Cu, на лазерно-индуцированном графене, (Cu NPs-LIG)	495	0,39	1 $\mu\text{M}$ – 60 mM	[30]
Датчик глюкозы на основе ядро-оболочка Cu-CuO на полианилине, на электроде из нержавеющей стали 316L (Cu-CuO / PANI / 316L)	25710	0,1 mM	0,1–5 mM	[31]
Датчик на основе нанокompозита (Cu <sub>2</sub> O / Cu /) на углеродной ткани	6952	60 nM	1–1555 $\mu\text{M}$	[32]
Датчик на основе композитного катализатора Cu-Ni/CuO-NiO, синтезированный методом плазменной обработки раствора	2637, 282 и 923, 084	54 nM	0–0,35 mM и 0,35–9,85 mM	[33]
Датчик на основе пористой наноструктурированной Cu	1862	0,048	10 $\mu\text{M}$ – 2 mM и 2–8mM	[34]
Датчик на основе биметаллической наноструктуры Co/Cu	1741 и 626	0,4	5 $\mu\text{M}$ – 1 mM и 2–9 mM	[35]
Сенсор на основе нанопленок Cu-Ni	1380	7,3	0,04–5,76 mM	[36]
Электрод с графетной печатью (SPCE) на основе нанокубиков оксида меди (Cu <sub>2</sub> O-NC-SPCE)	1040	3,1	0,007–4,5 mM	[37]
Сенсор на основе CuCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	400,0		2,5 $\mu\text{M}$ – 7,9 mM	[38]
Датчик на основе углеродных нанодот и нанокompозитов на основе оксида меди	110 и 63,3		0,5–2 mM и 2–5 mM	[39]
Датчик на основе сферической наноструктуры Cu, модифицированные SiO <sub>2</sub> , (Cu/CuO/SiO <sub>2</sub> )	8	1,45 mM	3–12 mM	[40]
Нанопластины палладия (PdNS) на нанокompозитах Cu/Cu <sub>2</sub> O с использованием подложек из оксида олова (FTO), легированных фтором. (PdNS-Cu / Cu <sub>2</sub> O / FTO)	Электрокаталитический ток = 3,70 mA	0,1	0,5–2600 $\mu\text{M}$	[41]
Графитовый карандашный электрод, модифицированный наночастицами Cu, (CuNP / GPE)	0,830	0,04	0,10–400 $\mu\text{M}$	[42]
Cu-Cu <sub>2</sub> O NPS @ 3DG пористая структура, состоящая из трехмерного графена (3DG), на основе наночастиц (Cu или Cu-Cu <sub>2</sub> O)	230,86	16 мкM	0,8–10 mM	[43]
Электрод из модифицированного графеном нанокompозита Cu <sub>2</sub> O	371 и 400	5,5 и 2 мкM	2мкM–12 mM	[44]

А датчик глюкозы, разработанный на основе модифицированной нанокompозитной пленки  $\text{Cu}_x\text{O-NiO}$  [36], показывал высокую избирательность против некоторых мешающих видов и стабильность. Приготовленный сенсор был успешно применен для мониторинга уровня глюкозы в сыворотке крови человека и в образцах мочи. Результаты тестирования электродов  $\text{Cu}_2\text{O-NC-SPCE}$  [37] показали удовлетворительную стабильность в отношении чувствительности к глюкозе и селективность по отношению к другим сахарам и этанолу, предполагая, что модификация SPCE с  $\text{Cu}_2\text{O-NC}$  может быть простым способом изготовления недорогих и надежных сенсоров для мониторинга глюкозы в процессах биоферментации.

$\text{Cu}_x\text{Co}_3\text{-xO}_4$  ( $x = 0,5; 1; 1,5; 2$ ) успешно синтезируется с помощью гидротермальных процессов и процессов прокаливания. Серия электрохимических тестов показывала, что все они проявляют электрокаталитическую активность по отношению к глюкозе и  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Среди них  $\text{CuCo}_2\text{O}_4$  ( $x = 1$ ) имеет уникальную полую структуру с двойной оболочкой и демонстрирует более высокие каталитические характеристики. Электрохимический сенсор на основе  $\text{CuCo}_2\text{O}_4$  [38] характеризовался линейным диапазоном от 2,5 мкМ до 7,9 мМ с чувствительностью 400,0 мкА мМ $\cdot$ см $^{-2}$  для обнаружения глюкозы. Для  $\text{H}_2\text{O}_2$  линейный диапазон составлял от 10,0 мкМ до 8,9 мМ с чувствительностью 94,1 мкА мМ $^{-1}$ с $^{-2}$ . Датчик также демонстрировал короткое время отклика (< 3 с), хорошую селективность, воспроизводимость и стабильность в течение 18 дней.

Хорошие аналитические характеристики показали датчики глюкозы на основе углеродных нанодот и нанокompозитов на основе оксида меди [39], сферические наноструктуры  $\text{Cu} / \text{CuO} / \text{SiO}_2$  на основе металлической меди [40] на нанокompозитах  $\text{Cu} / \text{Cu}_2\text{O}$  [41] с использованием подложек из оксида олова (FTO), легированных фтором. Содержание глюкозы в образце сыворотки с использованием электрода PdNS-Cu/  $\text{Cu}_2\text{O/FTO}$  хорошо согласовывалось с результатами традиционного коммерческого метода. Благодаря синергетическому эффекту нанопластов PdNS и  $\text{Cu/Cu}_2\text{O}$  была получена высокая электрокаталитическая эффективность.

Из датчиков глюкозы, приведенных в таблице, наименьшая чувствительность у графитового электрода (GPE), модифицированного наночастицами  $\text{Cu}$  ( $\text{CuNPs}$ ) [42], который был успешно протестирован на реальных образцах. Электрод ( $\text{CuNPs} / \text{GPE}$ ) проявлял высокую электрокаталитическую

активность и электрохимический отклик на окисление глюкозы, поскольку скорость переноса электронов глюкозой была значительно увеличена модификацией GPE наночастицами  $\text{Cu}$  ( $\text{CuNPs}$ ).

Разработке трехмерной графеновой пены (3DG) с взаимосвязанной пористой структурой посвящена работа [43] (таблица), пористая структура, состоящая из трехмерного графена (3DG), декорированная наночастицами ( $\text{Cu}$  или  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ ), была синтезирована для разработки бесферментного электрохимического сенсора глюкозы. Для электрода  $\text{Cu-Cu}_2\text{O NPS @ 3DG}$  была получена чувствительность 230,86 мкАм $^{-1}$  см $^{-2}$  в линейном диапазоне 0,8–10 мМ ( $R_2 = 0,9951$ ) и предел обнаружения 16 мкМ. Результаты подтвердили, что электрод можно применять в качестве возможного и недорогого неферментативного электрохимического датчика глюкозы.

Модифицированный графеном нанокompозит  $\text{Cu}_2\text{O}$  был синтезирован [44] (таблица) при легком микроволновом облучении водного раствора и исследован в качестве бесферментного биосенсора глюкозы. Морфологию и кристаллическую структуру нанокompозита  $\text{Cu}_2\text{O}$ , модифицированного графеном, исследовали с помощью электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Изготовленный модифицированный графеном биосенсор проявлял широкий линейный отклик на обнаружение глюкозы в диапазонах концентраций от 2 мкМ до 12 мМ с пределом обнаружения 2 мкМ. Чувствительность к глюкозе  $\text{Cu}_2\text{O}$  и модифицированные графеном электроды  $\text{Cu}_2\text{O}$  были рассчитаны как 371 мкАм $^{-1}$ см $^{-2}$  и 400 мкАм $^{-1}$ см $^{-2}$ . Кроме того, модифицированный графеном нанокompозит  $\text{Cu}_2\text{O}$  обеспечивал соответствующий селективный ответ для определения глюкозы в присутствии высоких концентраций аскорбиновой кислоты и дофаминна. Делается вывод, что модифицированный графеном нанокompозит  $\text{Cu}_2\text{O}$  может быть применен в качестве перспективного электродного материала для определения концентрации глюкозы в клинике.

Сенсорные характеристики неферментативных датчиков глюкозы в значительной степени зависят от морфологии, микроструктуры и состава наноматериалов. Мультиметаллический сплав или мультиметаллические соединения значительно повышают интегрированные электрохимические характеристики. Все больше внимания уделяется проектированию и изготовлению бинарных металлических или биметаллических оксидных композитов, например таких как  $\text{Ni-Cu}$  [44], благодаря их разнообразию

в получении биметаллических композиций и гибкости в формировании сложных трехмерных (3D) структур, приводящих к увеличению электрохимической активности для определения глюкозы. Неферментативные электрокаталитические электроды, использующие биметаллические системы, появились в виде сплавов [45] или металлических адатомов [46, 47]. В последние несколько лет наблюдается огромный рост интереса к применению биметаллических наночастиц, сочетающих Cu, Ni или Co с благородными металлами в катализе [48].

Не менее чувствительным оказался электрод с трафаретной печатью (SPCE) на основе нанокубиков оксида меди ( $\text{Cu}_2\text{O-NC}$ ). ( $\text{Cu}_2\text{O-NC-SPCE}$ ) [49]. Результаты испытаний показали, что модификация SPCE с  $\text{Cu}_2\text{O-NC}$  может быть простым способом изготовления недорогих и надежных датчиков для мониторинга глюкозы в процессах биоферментации. Кроме того, углеродный электрод с трафаретной печатью (SPCE) удобно использовать для обнаружения глюкозы благодаря гибкой конструкции и возможности для модификации.

Композит  $\text{CuCo}_2\text{O}_4$ , на основе которого был создан электрохимический сенсор [50] для определения глюкозы с чувствительностью  $400,0 \text{ мкА мМ}^{-1} \text{ см}^{-2}$ , измерял еще  $\text{H}_2\text{O}_2$ , показывая в линейном диапазоне от  $10,0 \text{ мкМ}$  до  $8,9 \text{ мМ}$  чувствительность  $94,1 \text{ мкА мМ}^{-1} \text{ см}^{-2}$ . Он имеет уникальную двухслойную полую структуру, демонстрируя высокие каталитические характеристики.

Один из способов создания усовершенствованных наноматериалов на основе Cu для катализа состоит в закреплении наночастиц Cu, CuO или  $\text{Cu}_2\text{O}$  на подложках, таких как оксиды железа,  $\text{SiO}_2$ , материалы на основе углерода или полимеры. Для улучшения чувствительности исследователи сосредоточились на использовании углеродных наноструктур, таких как углеродные нанотрубки, графен или оксид графена, в качестве вспомогательных материалов с целью модификации рабочих электродов. Углеродные нанодоты (С-точки) представляют собой недавно появившийся класс углеродных материалов, которые состоят из углеродных наночастиц диаметром менее 10 нм и нескольких гидрофильных поверхностных групп, демонстрирующих превосходную диспергируемость в воде, высокую площадь поверхности и химическую стабильность [51, 52]. По сравнению с другими материалами, точки CuO-С обеспечивают основные преимущества улучшения чувствительности благодаря синергетическому эффекту нанокомпозита, увеличению площади поверхности электрода и предот-

вращению агломерации наночастиц CuO из С-точек.

В исследованиях [53] синтезированы два типа электродов с нанопроволоками  $\text{Cu}_x\text{O}$  или  $\text{Cu}_x\text{O/Ag}_2\text{O}$  ( $x = 1, 2$ ), выращенными на нанопористой подложке, путем нанесения на них металлических стекол  $\text{Cu}_{50-x}\text{Zr}_{50}\text{Ag}_x$  ( $x = 0$  и  $7,5 \text{ ат.}\%$ ) с последующим анодированием и прокаливанием. По сравнению с кластероподобной нанопроволокой из монометаллического оксида меди на нанопористой меди ( $\text{Cu}_x\text{O @ NPC}$ ,  $x = 1, 2$ ), выращенная нанопроволока из медного и серебряного биметаллического оксида на нанопористой меди Cu-Ag ( $\text{Cu}_x\text{O / Ag}_2\text{O @ NP-CuAg}$ ), обладала лучшими характеристиками электроокисления для глюкозы. Разработанный электрод  $\text{Cu}_x\text{O / Ag}_2\text{O @ NP-CuAg}$  обладал чувствительностью  $1,31 \text{ мА мМ}^{-1} \text{ см}^{-2}$  и широким линейным диапазоном до  $15 \text{ мМ}$ , с исключительной помехоустойчивостью и стабильностью.

Использование Cu в форме наноструктур явилось хорошим решением для увеличения каталитической активности, причем комбинация с другими металлами обеспечивала новые и лучшие катализаторы для химических превращений. Но, несмотря на достигнутые успехи в области синтеза наночастиц на основе Cu, необходимо решать еще проблему ограниченной стабильности наночастиц Cu и их тенденцию испытывать выщелачивание. Кроме того, медь склонна к коррозии в процессе непрерывной реакции, что приводит к низкой стабильности сенсоров на ее основе.

### Заключение

Подводя итог, следует отметить, что большинство наноструктурированных датчиков не способны катализировать окисление глюкозы в физиологических условиях pH и не могут быть использованы непосредственно в биологических жидкостях. Они эффективно работают в щелочной среде [54]. Кроме того, большинство из предложенных датчиков были проверены в буферах, которые только имитируют биологическую среду. Разработка таких датчиков для клинических применений с биологическими средами гораздо сложнее. Тем не менее успехи в синтезе новых материалов позволят в будущем значительно продвинуться в разработках биосенсоров глюкозы без ферментов. Наиболее важным выводом в области исследований неферментативных электрохимических датчиков глюкозы является то, что сильно электроактивная площадь поверхности играет важную роль в электроокислении глюкозы.

Список литературы

1. American Diabetes Association Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care*. 2010. V. 33. P. 62–69. DOI: 10.2337/dc10-S062.
2. Tunis S.L., Minshall M.E. Self-monitoring of blood glucose (SMBG) for type 2 diabetes patients treated with oral anti-diabetes drugs and with a recent history of monitoring: cost-effectiveness in the US. *Curr. Med. Res. Opin.* 2010. V. 26. P. 151–162. DOI: 10.1185/03007990903400071.
3. Boutati E.I., Raptis S.A. Self-monitoring of blood glucose as part of the integral care of type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2009. V. 32(Suppl. 2). P. 205–210. DOI: 10.2337/dc09-S312.
4. O’Kane M.J., Pickup J. Self-monitoring of blood glucose in diabetes: is it worth it? *Ann. Clin. Biochem.* 2009. V. 46. P. 273–282. DOI: 10.1258/acb.2009.009011.
5. Gopalan A.I., Muthuchamy N., Lee K.P. A novel bismuth oxychloride-graphene hybrid nanosheets based non-enzymatic photoelectrochemical glucose sensing platform for high performances. *Biosens. Bioelectron.* 2017. V. 89. P. 352–360. DOI: 10.1016/j.bios.2016.07.017.
6. Gopalan A.I., Muthuchamy N., Komathi S., Lee K.P. A novel multicomponent redox polymer nanobead based high performance non-enzymatic glucose sensor. *Biosens. Bioelectron.* 2016. V. 84. P. 53–63. DOI: 10.1016/j.bios.2015.10.079.
7. Muthuchamy N., Gopalan A., Lee K.-P. Highly selective non-enzymatic electrochemical sensor based on a titanium dioxide nanowire–poly (3-aminophenyl boronic acid)–gold nanoparticle ternary nanocomposite. *RSC Adv.* 2018. V. 8. P. 2138–2147. DOI: 10.1039/C7RA09097H.
8. Ren S., Li C., Jiao X., Jia S., Jiang Y., Bilal M., Cui J. Recent progress in multienzymes co-immobilization and multienzyme system applications. *Chem. Eng. J.* 2019. V. 373. P. 1254–1278. DOI: 10.1016/j.cej.2019.05.14.
9. Van Enter B.J. & von Hauff E. Challenges and perspectives in continuous glucose monitoring. *Chem Commun (Camb)*. 2018. V. 54. P. 5032–5045. DOI: 10.1039/c8cc01678j.
10. Monzó J., Insua I., Fernandez-Trillo F., Rodriguez P. Achievements and challenges in the electrochemical sensing of pathogens. *Analyst.* 2015. V. 140. P. 7116–7128. DOI: 10.1039/C5AN01330E.
11. Toit H.Du, Lorenzo M.Di. Glucose oxidase directly immobilized onto highly porous gold electrodes for sensing and fuel cell applications. *Electrochim. Acta.* 2014. V. 138. P. 86–92. DOI: 10.1016/j.electacta.2014.06.074.
12. Wang J. Glucose biosensors: 40 years of advances and challenges. *Electroanalysis.* 2010. V. 13. P. 983–988. DOI: 10.1002/1616-8984(200201)10:13.0.CO;2-Q.
13. Bo X.J., Ndamaniha J.C., Bai J. & Guo L.P. Nonenzymatic amperometric sensor of hydrogen peroxide and glucose based on Pt nanoparticles/ordered mesoporous carbon nanocomposite. *Talanta.* 2010. V. 82. P. 85–91. DOI: 10.1016/j.talanta.2010.03.063.
14. Niu X., Li X., Pan J., He Y., Qiu F., Yan Y. Recent advances in non-enzymatic electrochemical glucose sensors based on non-precious transition metal materials: opportunities and challenges // *RSC Adv.* 2016. V. 6(88). P. 84893–84905. DOI: 10.1039/C6RA12506A.
15. Zhang W., Du Y., Wang M.L. On-chip highly sensitive saliva glucose sensing using multilayer films composed of single-walled carbon nanotubes, gold nanoparticles, and glucose oxidase // *Sens. Bio-Sensing Res.* 2015. V. 4. P. 96–102. DOI: 10.1016/j.sbsr.2015.04.006.
16. Li H., Zhang L., Mao Y., Wen C., Zhao P. A simple electrochemical route to access amorphous Co-Ni hydroxide for non-enzymatic glucose sensing. *Nanoscale Res Lett.* 2019. V. 4(1). P. 1–12. DOI: 10.1186/s11671-019-2966-2.
17. Zhu H., Li L., Zhou W., Shao Z., Chen X. Advances in non-enzymatic glucose sensors based on metal oxides. *J. Mater. Chem. B.* 2016. V. 4 (46). P. 7333–7349. DOI: 10.1039/C6TB02037B.
18. Kumar G.G., Amala G., Gowtham S.M. Recent advancements, key challenges and solutions in non-enzymatic electrochemical glucose sensors based on graphene platforms // *RSC Adv.* 2017. V. 7. P. 36949–36976. DOI: 10.1039/C7RA02845H.
19. Hwang D.W., Lee S., Seo M., Chung T.D. Recent advances in electrochemical non-enzymatic glucose sensors—a review. // *Anal. Chim. Acta.* 2018. V. 1033. P. 1–34. DOI: 10.1016/j.aca.2018.05.051.
20. Heba Abunahla, Baker Mohammad, Anas Alazzam, Maguy Abi Jaoude, et. al., MOMSense: Metal-Oxide-Metal Elementary Glucose Sensor // *Scientific Reports.* 2019. V. 9(1). P. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-019-41892-w.
21. Kim W. Bin, Lee S.H., Cho M., Lee Y. Facile and cost-effective CuS dendrite electrode for non-enzymatic glucose sensor // *Sensors Actuators, B Chem.* 2017. V. 249. P. 161–167. DOI: 10.1016/j.snb.2017.04.089.
22. Adeel M., Rahman Md M., Caligiuri I., Canzonieri V., Rizzolio F., Daniele S. Recent advances of electrochemical and optical enzyme-free glucose sensors operating at physiological conditions // *Biosensors and Bioelectronics.* 2020. V. 165. P. 112331. DOI: 10.1016/j.bios.2020.112331.
23. Kaushal S., Nanda S. S., Samal S., and Yi D. K. Strategies for the Development of Metallic-Nanoparticle Based Label-Free Biosensors and Their Biomedical Applications // *ChemBioChem.* 2020. V. 21. P. 576–600. DOI: 10.1002/cbic.201900566.
24. Wang G., He X., Wang L., Gu A., Huang Y., Fang B., Geng B., Zhang X. Non-enzymatic electrochemical sensing of glucose // *Microchimica Acta.* 2013. V. 180 (3–4). P. 161–186. DOI: 10.1007/s00604-012-0923-1.
25. Gao Y., Yang F., Yu Q., Fan R., Yang M., Rao S., Lan Q., Yang Z. Three-dimensional porous Cu@Cu<sub>2</sub>O aerogels for direct voltammetric sensing of glucose // *Microchim Acta.* 2019. V. 186. P. 192–200. DOI: 10.1007/s00604-019-3263-6.
26. Tian Y., Liu Y., Wang W.-P., Zhang X., Peng W. CuO nanoparticles on sulfur-doped graphene for nonenzymatic glucose sensing. *Electrochimica Acta.* 2015. V. 156. P. 244–251. DOI: 10.1007/s11051-016-3712-7.
27. Gawande M.B., Goswami A., Felpin F.X., Asefa T., Huang X., Silva R., Zou X., Zboril R., Varma R.S. Cu and Cu-Based Nanoparticles: Synthesis and Applications in Catalysis. *Chem. Rev.* 2016. V. 116(6). P. 3722–3811. DOI: 10.1002/chin.201619194.
28. Soganci Tugba, Ayranci Rukiye, Harputlu Ersan, Ocakoglu Kasim, Mehmet Acet, Farle Michael, Ünli Cumhur Gökhan, Ak Metin. An effective non-enzymatic biosensor platform based on copper nanoparticles decorated by sputtering on CVD graphene. *Sensors and Actuators B: Chemical.* 2018. V. 273. P. 1501–1507. [Electronic resource]. URL: <http://hdl.handle.net/11499/3947> (date of access: 22.03.2021).
29. Jiang D., Liu Q., Wang K., Qian J., Dong X., Yang Z., Du X., Qiu B. Enhanced non-enzymatic glucose sensing based on copper nanoparticles decorated nitrogen-doped graphene. *Biosens. Bioelectron.* 2014. V. 54. P. 273–278. DOI: 10.1016/j.bios.2013.11.005.
30. Zhang Y., Li N., Xiang Y., Wang D., Zhang P., Wang Y., Lu S., Xu R., Zhao J. A flexible non-enzymatic glucose sensor based on copper nanoparticles anchored on laser-induced graphene // *Carbon.* 2020. V. 156. P. 506–513. DOI: 10.1016/j.carbon.2019.10.006.
31. Le Hai V., Le Quang T. Electrochemical Preparation of Polyaniline-Supported Cu-CuO Core-Shell on 316L Stainless Steel Electrodes for Nonenzymatic Glucose Sensor. *Advances in Polymer Technology.* 2020. V. 2020. P. 1–7. DOI: 10.1155/2020/6056919.
32. Zhang Haoze, Yu Yawei, Shen Xiaodong, Hu Xiulan. A Cu<sub>2</sub>O/Cu/carbon cloth as a binder-free electrode for non-enzymatic glucose sensors with high performance. *New J. Chem.* 2020. V. 44. P. 1993–2000. DOI: 10.1039/c9nj05256a.
33. Bingqian Yang, Qiao Jingyuan, Yu Yawei, Yuan Lefan and Hu Xiulan. The simple-preparation of Cu–Ni/CuO–NiO

- using solution plasma for application in a glucose enzyme-free sensor. *New J. Chem.* 2020. V. 44. P. 10806–10812. DOI: 10.1039/d0nj01464h.
34. Siampour H., Abbasian S., Moshaii A. Copper columnar nanostructures fabricated by glancing angle deposition as a robust and scalable method for high sensitive non-enzymatic glucose detection. *Applied Surface Science.* 2020. V. 518. P. 146–182. DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.146182.
35. Pak M., Moshaii A., Siampour H., Abbasian S., Nikkhah M. Cobalt-copper bimetallic nanostructures prepared by glancing angle deposition for non-enzymatic voltammetric determination of glucose. *Microchimica Acta.* 2020. V. 187 (5). DOI: 10.1007/s00604-020-04246-2.
36. Hasanzadeh M., Hasanzadeh Z., Alizadeh S., Sayadi M., Nezhad M.N., Sabzi R.E., Sajjad Ahmadi. Copper-nickel oxide nanofilm modified electrode for non-enzymatic determination of glucose. *J. Electrochem. Sci. Eng.* 2020. V. 10(3). P. 245–255. DOI: 10.5599/jese.699.
37. Espro C., Marini S., Giusi D., Ampelli C., Neri G. Non-enzymatic screen printed sensor based on  $\text{Cu}_2\text{O}$  nanocubes for glucose determination in bio-fermentation processes // *Journal of Electroanalytical Chemistry.* 2020. V. 873. P.114–354. DOI: 10.1016/j.jelechem.2020.114354.
38. Cheng D., Wang T., Zhang G., Wu H., Mei H. A novel nonenzymatic electrochemical sensor based on double-shelled  $\text{CuCo}_2\text{O}_4$  hollow microspheres for glucose and  $\text{H}_2\text{O}_2$ . *Journal of Alloys and Compounds.* 2020. V. 819. P. 153014. DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.153014.
39. Sridara T., Upan J., Saianand G., Tuantranont A., Karuwan C., Jakmunee J. Non-Enzymatic Amperometric Glucose Sensor Based on Carbon Nanodots and Copper Oxide Nanocomposites Electrode. *Sensors.* 2020. V. 20 (3). P. 808–820. DOI: 10.3390/s20030808.
40. Taşaltın N., Taşaltın C., Karakuş S., Kilislioglu A. Cu core shell nanosphere based electrochemical non-enzymatic sensing of glucose. *Inorganic Chemistry Communications.* 2020. V. 118. P. 107991. DOI: 10.1016/j.inoche.2020.107991.
41. Li Tang, Huan K., Deng D., Han L., Zhigang Zeng, Luo L. Glucose sensor based on Pd nanosheets deposited on  $\text{Cu}/\text{Cu}_2\text{O}$  nanocomposites by galvanic replacement. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 2020. V. 188. P. 110797. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2020.110797.
42. Ayaz S., Karakaya S., Didem E.G., Dilgin G., Dilgin Y. A novel enzyme-free FI-amperometric glucose biosensor at Cu nanoparticles modified graphite pencil electrode. *Microchemical Journal.* 2020. V. 154. 104586. DOI: 10.1016/j.microc.2019.104586.
43. Khosroshahi Z., Karimzadeh F., Kharaziha M., Allafchian A. A non-enzymatic sensor based on three-dimensional graphene foam decorated with  $\text{Cu-xCu}_2\text{O}$  nanoparticles for electrochemical detection of glucose and its application in human serum. *Materials Science and Engineering: C* 2020. V. 108. 110216. DOI: 10.1016/j.msec.2019.110216.
44. Shabnam L., Faisal S.N., Roy A.K., Minett A.I., Gomes V.G. Nonenzymatic multispecies sensor based on Cu-Ni nanoparticle dispersion on doped grapheme. *Electrochimica Acta.* 2017. V. 224. P. 295–305.
45. Jafarian M., Forouzandeh J.F., Danaee I., Gopal F. and Mahjani MG. Electrocatalytic oxidation of glucose on Ni and NiCu alloy modified glassy carbon electrode. *J. Solid State Electrochem.* 2009. V. 13. P. 1171–1179. DOI: 10.1007/s10008-008-0632-1.
46. Aoun S.B., Koga T., Nonaka Y., Sotomura T., Taniguchi I. Electrocatalytic oxidation of sugars on silver-UPD single crystal gold electrodes in alkaline solutions. *Electrochem. Commun.* 2003. V. 5. P. 317–320.
47. Aoun S.B., Dursun Z., Koga T., Bang G.S., Sotomura T., Taniguchi I. Effect of metal ad-layers on Au(111) electrodes on electrocatalytic oxidation of glucose in an alkaline solution. *J. Electroanal. Chem.* 2004. V. 567. P. 175–183.
48. Lamey D., Beswick O., Dysonet P.J., Sulman E., Kiwi L. Highly selective immobilized bimetallic Ni-Au nanoparticle catalyst for the partial hydrogenation of m-dinitrobenzene. *Appl. Catal. A: Gen.* 2017. V. 542. P. 182–190. DOI:10.1016/j.apcata.2017.05.015.
49. Espro C., Marini S., Giusi D., Ampelli C., Neri G. Non-enzymatic screen printed sensor based on  $\text{Cu}_2\text{O}$  nanocubes for glucose determination in bio-fermentation processes. *Journal of Electroanalytical Chemistry.* 2020. V. 873. P. 114354. DOI: 10.1016/j.jelechem.2020.114354.
50. Cheng D., Wang T., Zhang G., Wu H., Mei H. A novel nonenzymatic electrochemical sensor based on double-shelled  $\text{CuCo}_2\text{O}_4$  hollow microspheres for glucose and  $\text{H}_2\text{O}_2$ . *Journal of Alloys and Compounds.* 2020. V. 819. P. 153014. DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.153014.
51. Yulong Y., Xincheng P. Recent advances in carbon-based dots for electroanalysis. *Analyst.* 2016. V. 141. P. 2619–2628. DOI: 10.1039/C5AN02321A.
52. Tuerhong M., Yang X.U., Xue-Bo Y. Review on carbon dots and their applications. *Chin. J. Anal. Chem.* 2017. V. 45. P. 139–150. DOI: 10.1016/S1872-2040(16)60990-8.
53. Zhang Qian, Li Man, Wang Zhifeng, Qin Chunling, Zhao Weimin, Li Yongyan. Flexible Free-Standing  $\text{Cu}_x\text{O}/\text{Ag}_2\text{O}$  ( $x = 1, 2$ ) Nanowires Integrated with Nanoporous Cu-Ag Network Composite for Glucose Sensing. *Nanomaterials.* 2020. V. 10 (2). P. 357–365. DOI: 10.3390/nano10020357.
54. George J.M., Antony A., Mathew B. Metal oxide nanoparticles in electrochemical sensing and biosensing: a review. *Microchim. Acta.* 2018. V. 185(7). P. 358. DOI: 10.1007/s00604-018-2894-3.

УДК 613.2:796/799

**КРЕАТИН В СПОРТИВНОМ ПИТАНИИ И КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ.  
НОВЫЕ ДАННЫЕ****Стогов М.В., Нененко Н.Д., Кучин Р.В.***ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск,  
e-mail: stogo\_off@list.ru*

Цель обзора – анализ современных направлений научных исследований по применению креатина в спортивной и клинической практике. Поиск литературных данных проведен по открытым электронным базам данных научной литературы PubMed и eLIBRARY. Глубина поиска – 2018–2021 гг. Показано, что последние исследования, посвященные применению креатина в спортивной и клинической практике, можно классифицировать по четырем направлениям: 1) исследования, посвященные разработке протоколов применения креатина в тренировочном процессе; 2) исследования, посвященные разработке комплексных схем применения креатина; 3) исследования, посвященные применению креатина в терапевтических целях; 4) обнаружение новых эффектов при применении креатина. Отмечено, что применение креатина в качестве пищевой добавки в спортивной практике требует дифференциального подхода в зависимости от вида спорта, уровня подготовки, возраста, характера питания, сочетания с другими компонентами пищи, времени приема, индивидуальной чувствительности. Заключается, что применение креатина в спортивном питании в настоящее время достаточно обосновано в части его эффективности и безопасности. Однако для использования в широкой практике, в том числе и в клинике, необходима конкретизация протоколов его применения с целью достижения максимального эффекта.

**Ключевые слова:** креатин, спортивное питание, клиническая практика, эффективность и безопасность**CREATINE IN SPORTS NUTRITION AND CLINICAL PRACTICE.  
NEW DATA****Stogov M.V., Nenenko N.D., Kuchin R.V.***Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: stogo\_off@list.ru*

The purpose of the review is to analyze current trends in scientific research on the use of creatine in sports and clinical practice. The literature search was carried out using the open electronic databases of scientific literature PubMed and eLIBRARY. Search depth – 2018–2021. It has been shown that recent studies on the use of creatine in sports and clinical practice can be classified in 4 directions. 1) Research on the development of protocols for the use of creatine in the training process. 2) Research on the development of complex regimens for the use of creatine. 3) Research on the use of creatine for therapeutic purposes. 4) Finding new effects when using creatine. It is noted that the use of creatine as a dietary supplement in sports practice requires a differential approach depending on: – the type of sport, – the level of training, – age, – the nature of the diet, – the combination with other food components, – the time of intake, – individual sensitivity. It is concluded that the use of creatine in sports nutrition is currently sufficiently substantiated in terms of its effectiveness and safety. However, for use in wide practice, including in the clinic, it is necessary to specify the protocols for its use in order to achieve the maximum effect.

**Keywords:** creatine, sports nutrition, clinical practice, efficacy and safety

Исследования показывают, что 89% людей, профессионально занимающихся спортом, считают, что применение специальных биологических добавок к пище является необходимым фактором для достижения серьезных спортивных результатов [1]. С учётом роста числа людей, занимающихся физической культурой и спортом, востребованность таких добавок будет расти.

Среди пищевых добавок определенной популярностью пользуется креатина моногидрат. В первые десятилетия 2000-х гг. активно накапливались экспериментальные и практические данные об эффективности его применения. В это время было установлено, что пероральное применение креатина вызывает рост мышечных волокон, активирует синтез миозина, стимулирует синтез гликогена и активирует дифференциацию миосателлитоцитов [2–4]. Показано также, что применение креатина как активного

элемента спортивного питания соответствует критериям безопасности [5].

Основываясь на огромной популярности добавок креатина, на имеющемся опыте практического применения данной добавки, Международное общество спортивного питания (ISSN) опубликовало в 2017 г. обновленную позицию по безопасности и эффективности применения добавок креатина в практике физической культуры, спорта и медицины [6]. В этом документе представлен обзор литературы, посвященной изучению влияния креатина на работоспособность, восстановление, предотвращение травм, переносимость физических нагрузок, нейропротекцию, старение, клинические состояния населения, а также беременность. Этот обзор свидетельствует о важности включения креатина в качестве элемента не только спортивного питания, но и в качестве средства с потенциальным

терапевтическим эффектом. Однако представленные рекомендации оставляют ряд вопросов в части конкретизации протоколов применения данной добавки по отдельным показаниям (физическая культура, спорт, клиника).

Цель настоящего обзора – анализ современных направлений научных исследований по применению креатина в спортивной и клинической практике.

### Материалы и методы исследования

Поиск литературных данных проведен по открытым электронным базам данных научной литературы PubMed и eLIBRARY. Для поиска использовали следующий поисковый запрос: «креатин», «sports nutrition AND creatine AND human». Глубина поиска – 2018–2021 гг. Для проведения анализа и оценки литературных данных были определены критерии включения и исключения в исследование и исключения из исследования. Критерии включения: 1. Наличие полнотекстовых источников или структурированной аннотации. Критерии исключения: 1. Тезисы докладов, неопубликованные работы. 2. Исследования, имеющие признаки «дублирования» (схожий протокол исследования, группы и число пациентов и др.). В случае обнаружения «дублирующих» статей выбирали более поздний по дате публикации источник. 3. Экспериментальные исследования на животных.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки текущих исследований, посвященных применению креатина в качестве добавки в спортивном питании, мы исходили из основных тезисов Международного общества спортивного питания в отношении приема креатина, которое представило официальную позицию, состоящую из девяти положений [6, с. 12]:

1. Креатина моногидрат – это наиболее эффективная эргогенная пищевая добавка, доступная в настоящее время спортсменам с целью увеличения способности к нагрузкам высокой интенсивности и увеличения мышечной массы во время тренировок.

2. Добавка моногидрата креатина не только безопасна, но и имеет ряд терапевтических преимуществ для здоровых и больных людей, от младенцев до пожилых людей. Нет убедительных научных доказательств того, что краткосрочное или долгосрочное использование моногидрата креатина (до 30 г/день в течение 5 лет) оказывает какое-либо пагубное влияние на здоровых людей или среди клинических групп насе-

ления, которым может быть показан прием креатина.

3. При соблюдении надлежащих мер предосторожности и наблюдения со стороны специалистов прием моногидрата креатина у детей и спортсменов подросткового возраста является приемлемым и может служить альтернативой питанию с благоприятным профилем безопасности относительно потенциально опасных анаболических андрогенных препаратов. Однако рекомендуется рассматривать добавление креатина только для молодых спортсменов, которые: а) участвуют в серьезных соревновательных и тренировках под наблюдением специалиста; б) соблюдают хорошо сбалансированную диету, улучшающую работоспособность; в) осведомлены о правильном использовании креатина; г) не превышают рекомендуемые дозировки.

4. Рекомендации на этикетках продуктов, содержащих креатин, которые предостерегают от использования креатина лицами младше 18 лет, хотя, возможно, предназначены для защиты их производителей от юридической ответственности, скорее всего, излишни, учитывая комплекс научных данных, подтверждающих безопасность креатина, в том числе для детей и подростков.

5. В настоящее время моногидрат креатина является наиболее широко изученной и эффективной формой креатина для использования в пищевых добавках с точки зрения усвоения мышцами и способности увеличивать нагрузочную способность ткани при нагрузках высокой интенсивности.

6. Добавление углеводов или углеводов и белков к креатиновой добавке, по видимому, увеличивает мышечное поглощение креатина, хотя влияние на показатели его биодоступности могут быть и не больше, чем при использовании моногидрата креатина в качестве монотерапии.

7. Самый быстрый метод увеличения запасов креатина в мышцах может заключаться в потреблении ~0,3 г/кг/день моногидрата креатина в течение 5–7 дней с последующим приемом 3–5 г/день для поддержания повышенных запасов. Первоначально прием небольших количеств моногидрата креатина (например, 3–5 г/день) увеличит запасы креатина в мышцах в течение 3–4 недель, однако первоначальные эффекты этого метода приема добавок поддерживаются в меньшей степени.

8. Клинические группы получали добавки с высоким уровнем моногидрата креатина (0,3–0,8 г/кг/день, что эквивалентно 21–56 г/день для человека весом 70 кг) в течение многих лет без клинически значимых или серьезных побочных эффектов.

9. Необходимы дальнейшие исследования для изучения потенциальных медицинских преимуществ моногидрата креатина и его прекурсоров, таких как гуанидиноуксусная кислота, для спорта, физической культуры и медицины.

В представленном документе ISSN отмечает, что к настоящему времени получено достаточно данных, подтверждающих эффективность и безопасность применения креатина моногидрата в спортивной практике. На это указывают пункты 1, 5 и 6. По-видимому, в связи с этим среди обнаруженных нами литературных данных с 2018 г. исследований, посвященных фундаментальным аспектам применения креатина, немного.

В цитируемой выше работе необходимо также выделить и положения, касающиеся безопасности применения креатина в качестве добавки к спортивному питанию. В частности, в пунктах 2, 4, 8 отмечено, что применение креатина в качестве пищевой добавки имеет приемлемую безопасность, в том числе для детей, пожилых людей.

Выполненный нами литературный поиск также показал, что основные направления исследований, выполненных после 2017 г., в большинстве своем посвящены разработке протоколов практического применения креатина в спортивной, а также в клинической практике. Такая ситуация очевидна и вытекает из того, что предложенные ISSN рекомендации по применению креатина моногидрата, в том числе и для молодых спортсменов, носят общий характер и не привязаны к каким-либо конкретным протоколам подготовки спортсменов или лечения пациентов (см. пункты 3, 7). Кроме того, ряд представленных ISSN рекомендаций по определению требует дальнейшей научной проработки (см. пункты 6, 9).

В этом плане все обнаруженные нами в результате литературного поиска исследования по применению креатина в спортивной и клинической практике, выпущенные после выхода указанных выше рекомендаций, мы классифицировали по следующим направлениям.

*1. Исследования, посвященные разработке протоколов применения креатина в тренировочном процессе.* Это направление научных исследований, по нашему мнению, является самым востребованным, так как рекомендованные схемы применения креатина в спортивной практике (см. п. 7) слишком общи и не учитывают порядок его применения в зависимости от особенностей тренировочного процесса для применения в отдельных видах спорта, а также для отдельных групп населения. Так, к настоящему времени

существуют работы, обосновывающие эффективные схемы (включающие описание дозировки, частоты приема и длительности) применения креатина для развития отдельных физических качеств (улучшения мышечной силы и показателей мышечной выносливости) [7, 8]; применения при интервальной тренировке высокой интенсивности [9, 10]; повышения адаптации к тренировкам на выносливость [11]; применения при подготовке в отдельных видах спорта [12–14]. Отдельная разрабатываемая в этом направлении проблема – это выбор наиболее адекватного времени приема креатиновой добавки для обеспечения ее максимальной эффективности [15]. Очевидно, что разработка схем применения и показаний к нему, включающих уточнения в части дозировки, частоты и длительности приема креатина для использования в практике физической культуры, в практике спортивной подготовки в отдельных видах спорта или для конкретных клинических групп населения, в дальнейшем будет составлять основной приоритет исследовательских работ в данном направлении.

*2. Исследования, посвященные разработке комплексных схем применения креатина.* Большой раздел исследовательских работ посвящен разработке схем комплексного применения креатина как эргогенной добавки в рамках спортивного питания. Актуальность таких исследований вытекает из необходимости повышения эффективности применения креатина, что, по мнению многих авторов, достигается путем его включения в состав комплексных пищевых композиций. Эффективность применения креатина в комплексе с другими нутриентами и в рамках диетических стратегий представлена нами в таблице.

Представленные данные свидетельствуют в пользу того, что применение креатина в качестве добавки в практике спорта эффективно в комплексе с иными нутриентами.

*3. Исследования, посвященные применению креатина в терапевтических целях,* в том числе и в практике спортивной медицины. Данная область применения креатина декларирована в рамках пунктов 2, 8, 9 указанных выше рекомендаций. Однако конкретные показания для медицинского применения креатина уточняются сейчас, поэтому данное направление включает исследования, в которых отмечается возможность применения креатина в протоколах лечения отдельных нозологий. Так, отмечена возможность применения креатиновой добавки у пациентов с заболеваниями костно-мышечной системы, сахарным диабетом, повреждениями спинного мозга [26], после спортивной травмы [27].

Эффективность применения креатина в комплексе с другими нутриентами		
Комплекс	Эффективность креатина по сравнению с монотерапией	Источник
Креатин + $\beta$ -гидрокси $\beta$ -метилбутират	Нет повышения эффективности	[16]
Креатин + электролиты	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[17]
Креатин + гуанидиноуксусная кислота	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[18]
Креатин + углеводы	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[19]
Креатин + кисломолочные продукты	Эффективность комплекса несколько выше, чем отдельное применение креатина	[20]
Креатин + незаменимые аминокислоты + витамин D	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[21]
Креатин + аминокислоты с разветвлёнными боковыми цепями (BCAA) + цитруллин + малат + бетаин + бета-аланин	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[22]
Креатин + аминокислоты с разветвлёнными боковыми цепями (BCAA) + цитруллин + малат + бетаин + бета-аланин	Нет повышения эффективности	[23]
Креатин + электролиты + макроэлементы + антиоксиданты (4R диетическая стратегия)	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[24]
Многокомпонентные предтренировочные добавки (Multi-ingredient pre-workout supplements, MIPS)	Эффективность комплекса выше, чем отдельное применение креатина	[25]

Вероятно, объем исследований в этом направлении будет возрастать, так как многие вопросы клинического применения еще не затронуты. В этом плане, например, отдельно рассматривается эффективность применения креатина у женщин [28], пожилых людей [29], вегетарианцев [30]. Эти данные указывают на то, что показания к применению креатина, как в области спортивного питания, так и в клинических целях требуют учета множества факторов.

*4. Обнаружение новых эффектов при применении креатина.* Помимо известных данных об эффективности применения креатина обнаруживаются новые эффекты. В частности, представлены данные об улучшении когнитивных функций при применении в качестве пищевой добавки креатина [31].

Совокупность новых данных по применению креатина в качестве пищевой добавки в спорте и медицине позволила внести некоторые уточняющие положения в рекомендации ISSN, которые отражены в работе [32]. В ней авторами приведены следующие основные положения, касающиеся безопасности применения креатина: 1. Добавки креатина не приводят к задержке воды в организме. 2. Креатин не является анаболическим стероидом. 3. Прием креатина в рекомендуемых дозах не приводит к повреждению почек и / или почечной дисфункции у здоровых людей. 4. Большинство

доступных доказательств не поддерживают связь между приемом креатина и выпадением волос. 5. Добавки креатина не вызывают обезвоживания или мышечных спазмов. 6. Добавки креатина в целом безопасны и потенциально полезны для детей и подростков. 7. Добавки креатина не увеличивают жировую массу. 8. Эффективны меньшие суточные дозы креатина (3–5 г или 0,1 г/кг массы тела). Следовательно, фаза «загрузки» креатином не требуется. 9. Креатин может увеличивать мышечную массу и улучшить работоспособность пожилых людей. 10. Добавки креатина могут быть полезны при различных занятиях спортом. 11. Добавки креатина обеспечивают множество преимуществ для женщин на протяжении всей их жизни. 12. Другие формы креатина не превосходят моногидрат креатина.

Таким образом, совокупность новых данных по применению креатина в качестве пищевой добавки свидетельствует о необходимости дифференциального его применения в спортивной практике в зависимости от вида спорта, уровня подготовки, возраста, характера питания, сочетания с другими компонентами пищи, времени приема, индивидуальной чувствительности. То, что применение пищевых добавок, в том числе и креатина в практике спорта требует учета этих факторов, отражено в некоторых руководящих положениях, в частности Международной ассоциации легкой

атлетики и Международного олимпийского комитета [33, 34]. Сфера же медицинского применения креатина пока нуждается в разработке показаний для его применения и данных, подтверждающих достаточную его эффективность по этим показаниям.

### Заключение

Таким образом, применение креатина в качестве пищевой добавки как элемента спортивного питания в настоящее время достаточно обосновано в части его эффективности и безопасности. Однако его использование в широкой практике, в том числе и в клинике, требует разработки и конкретизации протоколов применения креатина, обеспечивающих оптимальный режим для достижения максимальной эффективности.

### Список литературы

- Сагина О.А., Кухаренко М.Ю. Новые методы использования спортивных добавок // Генезис экономических и социальных проблем субъектов рыночного хозяйства в России. 2019. № 13. С. 102–106.
- Нетреба А.И., Шенкман Б.С., Попов Д.В., Тарасова О.С., Вдовина А.Б., Хотченков В.П., Стеханова Т.Н., Виноградова О.Л. Креатин как метаболический модулятор структуры и функции скелетных мышц при силовой тренировке у человека: эргогенные и метаболические эффекты // Российский физиологический журнал. 2006. № 1. С. 113–122.
- Deane C.S., Wilkinson D.J., Phillips B.E., Smith K., Etheridge T., Atherton P.J. «Nutraceuticals» in relation to human skeletal muscle and exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2017. Vol. 312. No. 4. P. E282–E299. DOI: 10.1152/ajpendo.00230.2016.
- Hespeel P., Derave W. Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Subcell Biochem.* 2007. Vol. 46. P. 245–259.
- Andres S., Ziegenhagen R., Trefflich I., Pevny S., Schultrich K., Braun H., Schänzer W., Hirsch-Ernst K.I., Schäfer B., Lampen A. Creatine and creatine forms intended for sports nutrition. *Mol Nutr Food Res.* 2017. Vol. 61. No. 6. DOI: 10.1002/mnfr.201600772.
- Kreider R.B., Kalman D.S., Antonio J., Ziegenfuss T.N., Wildman R., Collins R., Candow D.G., Kleiner S.M., Almada A.L., Lopez H.L. International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017. Vol. 14. P. 18. DOI: 10.1186/s12970-017-0173-z.
- Kaviani M., Abassi A., Chilibeck P.D. Creatine monohydrate supplementation during eight weeks of progressive resistance training increases strength in as little as two weeks without reducing markers of muscle damage. *J Sports Med Phys Fitness.* 2019. Vol. 59. No. 4. P. 608–612. DOI: 10.23736/S0022-4707.18.08406-2
- Mills S., Candow D.G., Forbes S.C., Neary J.P., Ormsbee M.J., Antonio J. Effects of creatine supplementation during resistance training sessions in physically active young adults. *Nutrients.* 2020. Vol. 12. No. 6. P. 1880. DOI: 10.3390/nu12061880.
- Forbes S.C., Candow D.G., Smith-Ryan A.E., Hirsch K.R., Roberts M.D., VanDusseldorp T.A., Stratton M.T., Kaviani M., Little J.P. Supplements and nutritional interventions to augment high-intensity interval training physiological and performance adaptations—a narrative review. *Nutrients.* 2020. Vol. 12. No. 2. P. 390. DOI: 10.3390/nu12020390.
- da Silva Azevedo A.P., Michelone Acquesta F., Lancha A.H.Jr., Bertuzzi R., Poortmans J.R., Amadio A.C., Cer-

ca Serrão J. Creatine supplementation can improve impact control in high-intensity interval training. *Nutrition.* 2019. Vol. 61. P. 99–104. DOI: 10.1016/j.nut.2018.09.020.

11. Rothschild J.A., Bishop D.J. Effects of dietary supplements on adaptations to endurance training. *Sports Med.* 2020. Vol. 50. No. 1. P. 25–53. DOI: 10.1007/s40279-019-01185-8.

12. Кириллов М.О., Литвиненко С.Н. Креатин как средство повышения скоростно-силовых качеств баскетболистов спортивного резерва 19–22 лет // Ресурсы конкурентоспособности спортсменов: теория и практика реализации. 2019. № 1. С. 163–165.

13. Mielgo-Ayuso J., Calleja-Gonzalez J., Marqués-Jiménez D., Caballero-García A., Córdova A. Effects of creatine supplementation on athletic performance in soccer players: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2019. Vol. 11. No. 4. P. 757. DOI: 10.3390/nu1104075.

14. Sygo J., Kendig Glass A., Killer S.C., Stellingwerff T. Fueling for the field: nutrition for jumps, throws, and combined events. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019. Vol. 29. No. 2. P. 95–105. DOI: 10.1123/ijsnem.2018-0272.

15. Stecker R.A., Harty P.S., Jagim A.R., Candow D.G., Kerkisick C.M. Timing of ergogenic aids and micronutrients on muscle and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019. Vol. 16. No. 1. P. 37. DOI: 10.1186/s12970-019-0304-9.

16. Mangine G.T., VanDusseldorp T.A., Hester G.M., Julian J.M., Feito Y. The addition of beta-hydroxy beta-methylbutyrate (HMB) to creatine monohydrate supplementation does not improve anthropometric and performance maintenance across a collegiate rugby season. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020. Vol. 17. No. 1. P. 28. DOI: 10.1186/s12970-020-00359-4.

17. Hummer E., Suprak D.N., Buddhadev H.H., Brilla L., San Juan J.G. Creatine electrolyte supplement improves anaerobic power and strength: a randomized double-blind control study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019. Vol. 16. No. 1. P. 24. DOI: 10.1186/s12970-019-0291-x.

18. Semeredi S., Stajer V., Ostojic J., Vranes M., Ostojic S.M. Guanidinoacetic acid with creatine compared with creatine alone for tissue creatine content, hyperhomocysteinemia, and exercise performance: a randomized, double-blind superiority trial. *Nutrition.* 2019. Vol. 57. P. 162–166. DOI: 10.1016/j.nut.2018.04.009.

19. Tomcik K.A., Camera D.M., Bone J.L., Ross M.L., Jeacocke N.A., Tachtsis B., Senden J., van Loon L.J.C., Hawley J.A., Burke L.M. Effects of creatine and carbohydrate loading on cycling time trial performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2018. Vol. 50. No. 1. P. 141–150. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001401.

20. Захарова Л.М., Пушмина И.Н., Пушмина В.В., Кудрявцев М.Д., Ситничук С.С. Кисломолочный продукт для спортивного питания // Человек. Спорт. Медицина. 2019. № S1. С. 128–136.

21. Negro M., Perna S., Spadaccini D., Castelli L., Calanni L., Barbero M., Cescon C., Rondanelli M., D'Antona G. Effects of 12 weeks of essential amino acids (EAA)-based multi-ingredient nutritional supplementation on muscle mass, muscle strength, muscle power and fatigue in healthy elderly subjects: a randomized controlled double-blind study. *J Nutr Health Aging.* 2019. Vol. 23. No. 5. P. 414–424. DOI: 10.1007/s12603-019-1163-4.

22. Schwarz N.A., McKinley-Barnard S.K., Blahnik Z.J. Effect of Bang® Pre-Workout Master Blaster® combined with four weeks of resistance training on lean body mass, maximal strength, mircoRNA expression, and serum IGF-1 in men: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019. Vol. 19. No. 1. P. 54. DOI: 10.1186/s12970-019-0310-y.

23. Directo D., Wong M.W.H., Elam M.L., Falcone P., Osmond A., Jo E. The effects of a multi-ingredient performance supplement combined with resistance training on exercise volume, muscular strength, and body composition. *Sports (Basel).* 2019. Vol. 25. No. 6. P. 152. DOI: 10.3390/sports7060152.

24. Bonilla D.A., Pérez-Idárraga A., Odriozola-Martínez A., Kreider R.B. The 4R's framework of nutritional strategies for post-exercise recovery: a review with emphasis on new

- generation of carbohydrates. *Int J Environ Res Public Health*. 2020. Vol. 18. No. 1. P. 103. DOI: 10.3390/ijerph18010103.
25. Jagim A.R., Harty P.S., Camic C.L. Common ingredient profiles of multi-ingredient pre-workout supplements. *Nutrients*. 2019. Vol. 11. No. 2. P. 254. DOI: 10.3390/nu11020254.
26. Kreider R.B., Stout J.R. Creatine in health and disease. *Nutrients*. 2021. Vol. 13. No. 2. P. 447. DOI: 10.3390/nu13020447.
27. Juhasz I., Kopkane J.P., Hajdu P., Szalay G., Kopper B., Tihanyi J. Creatine supplementation supports the rehabilitation of adolescent fin swimmers in tendon overuse injury cases. *J Sports Sci Med*. 2018. Vol. 17. No. 2. P. 279–288.
28. de Guingand D.L., Palmer K.R., Snow R.J., Davies-Tuck M.L., Ellery S.J. Risk of adverse outcomes in females taking oral creatine monohydrate: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2020. Vol. 12. No. 6. P. 1780. DOI: 10.3390/nu12061780.
29. Oliveira C.L.P., Antunes B.M.M., Gomes A.C., Lira F.S., Pimentel G.D., Boulé N.G., Mota J.F. Creatine supplementation does not promote additional effects on inflammation and insulin resistance in older adults: a pilot randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clin Nutr ESPEN*. 2020. Vol. 39. P. 94–98. DOI: 10.1016/j.clnesp.2020.05.024.
30. Kaviani M., Shaw K., Chilibeck P.D. Benefits of creatine supplementation for vegetarians compared to omnivorous athletes: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020. Vol. 17. No. 9. P. 3041. DOI: 10.3390/ijerph17093041.
31. Dolan E., Gualano B., Rawson E.S. Beyond muscle: the effects of creatine supplementation on brain creatine, cognitive processing, and traumatic brain injury. *Eur J Sport Sci*. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 1–14. DOI: 10.1080/17461391.2018.1500644.
32. Antonio J., Candow D.G., Forbes S.C., Gualano B., Jagim A.R., Kreider R.B., Rawson E.S., Smith-Ryan A.E., Van Dusseldorp T.A., Willoughby D.S., Ziegenfuss T.N. Common questions and misconceptions about creatine supplementation: what does the scientific evidence really show? *J Int Soc Sports Nutr*. 2021. Vol. 18. No. 1. P. 13. DOI: 10.1186/s12970-021-00412-w.
33. Burke L.M., Castell L.M., Casa D.J., Close G.L., Costa R.J.S., Desbrow B., Halson S.L., Lis D.M., Melin A.K., Peeling P., Saunders P.U., Slater G.J., Sygo J., Witard O.C., Bermon S. International Association of Athletics Federations consensus statement 2019: nutrition for athletics. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2019. Vol. 29. No. 2. P. 73–84. DOI: 10.1123/ijsnem.2019-0065.
34. Maughan R.J., Burke L.M., Dvorak J., Larson-Meyer D.E., Peeling P., Phillips S.M., Rawson E.S., Walsh N.P., Garthe I., Geyer H., Meeusen R., van Loon L., Shirreffs S.M., Spriet L.L., Stuart M., Vernec A., Currell K., Ali V.M., Budgett R.G.M., Ljungqvist A., Mountjoy M., Pitsiladis Y. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018. Vol. 28. No. 2. P. 104–125. DOI: 10.1123/ijsnem.2018-0020.

СТАТЬИ

УДК 614.4:616-006

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19**

<sup>1</sup>Елишев В.Г., <sup>1,2</sup>Шершевер А.С., <sup>1</sup>Киселев Е.А., <sup>1</sup>Гетманчук А.П., <sup>1</sup>Дорофеев А.В.,  
<sup>1</sup>Мясникова О.В., <sup>1,2</sup>Борзунов И.В., <sup>1</sup>Белкин В.А., <sup>1</sup>Басов А.Г., <sup>1</sup>Салюткина А.Н.

<sup>1</sup>ГАОУЗ СО «Свердловский областной онкологический диспансер»,

Екатеринбург, e-mail: ivborzunov@e1.ru;

<sup>2</sup>Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, Екатеринбург

В марте 2020 г. изданы приказы главного врача Свердловского областного онкологического диспансера по организации и проведению мероприятий по предупреждению распространения коронавирусной инфекции, организован оперативный штаб по организации работы диспансера в условиях распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19, введены ограничительные меры с целью предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции. Произведен сравнительный анализ объемов оказания специализированной медицинской помощи в условиях пандемии COVID-19 в сроки до (с января по апрель 2020 г.) и после введения ограничительных мер (с апреля 2020 по октябрь 2020 г.): поликлинические посещения (очных консультаций) проведено 77701, дистанционных консультаций выполнено 58), количество законченных случаев круглосуточного стационара по видам лечения зарегистрировано 10410, из них хирургическое лечение составило 3312, лучевая терапия проведена 1707 пациентам, химиотерапия проведена 5391 пациенту. Полученные данные работы онкологической службы в период пандемии COVID-19 позволили сделать вывод об эффективности принятых противоэпидемических мероприятий. Организация работы онкологической службы региона, согласно требованиям и с учетом эпидемиологической обстановки, позволила продолжить оказание специализированной помощи населению и минимизировала риски заражения пациентов и сотрудников.

**Ключевые слова:** коронавирусная инфекция, организация работы онкологической службы Свердловской области, злокачественные образования, противоэпидемические мероприятия

**ORGANIZATION OF THE WORK OF THE CANCER SERVICE  
OF THE SVERDLOVSK REGION IN THE CONTEXT OF THE COVID-19 PANDEMIC**

<sup>1</sup>Elishev V.G., <sup>1,2</sup>Shershever A.S., <sup>1</sup>Kiselev E.A., <sup>1</sup>Getmanchuk A.P., <sup>1</sup>Dorofeev A.V.,  
<sup>1</sup>Myasnikova O.V., <sup>1,2</sup>Borzunov I.V., <sup>1</sup>Belkin V.A., <sup>1</sup>Basov A.G., <sup>1</sup>Saloutina A.N.

<sup>1</sup>Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary, Yekaterinburg, e-mail: ivborzunov@e1.ru;

<sup>2</sup>Ural State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Yekaterinburg

In March 2020, orders were issued by the chief physician of the Sverdlovsk Regional Oncology Dispensary to organize and conduct measures to prevent the spread of coronavirus infection, an operational headquarters was organized to organize the work of the dispensary in the context of the spread of the new coronavirus infection COVID-19, restrictive measures were introduced to prevent the spread of a new coronavirus infection. A comparative analysis of the volume of specialized medical care provided in the context of the COVID-19 pandemic in the period before (from January to April 2020) and after the introduction of restrictive measures (from April 2020 to October 2020): outpatient visit (face-to-face consultations 77701, remote consultations performed 58), the number of completed cases-hour hospitals the treatment was – 10410, of which surgical treatment was 3312, radiotherapy was performed 1707 patients chemotherapy were 5391 patients. The data obtained from the work of the cancer service during the COVID-19 pandemic allowed us to conclude about the effectiveness of the anti-epidemic measures taken. The organization of the work of the oncological service of the region, according to the requirements and taking into account the epidemiological situation, allowed to continue providing specialized care to the population and minimized the risks of infection of patients and employees.

**Keywords:** COVID-19, organization of work of oncological service, malignancy, antiepidemic activity

В конце 2019 г. в Китайской Народной Республике выявлена новая коронавирусная инфекция. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) 11 февраля 2020 г. присвоила официальное название инфекции, вызванной новым коронавирусом, COVID-19 (Coronavirus disease 2019) [1–3]. Международный комитет по таксономии вирусов 11 февраля 2020 г. присвоил официальное название возбудителю инфекции – SARS-CoV-2. 11 марта 2020 г. ВОЗ объявила о начале пандемии COVID-19 [4, 5].

Известно, что у пациентов с хроническими заболеваниями, в том числе со злокачественными, имеется высокий риск заболевания тяжелой формой вирусной инфекции COVID-19. В эпоху урбанизации особо возрос риск заражения инфекциями, передающимися воздушно-капельным путем. Повышенные риски связаны с большой плотностью населения, когда трудно выдерживать дистанцию. В Свердловской области на 01.01.2020 г. проживает 4 311 0681 чел. Городское население состав-

ляет 3 664 715 чел., сельское – 645 966. Население старше 65 лет в Свердловской области составляет 681 082 чел. Риск заболеть COVID-19 даже в условиях самоизоляции и ограниченного передвижения у городского населения сохраняется [6, 7].

У жителей Свердловской области старше трудоспособного возраста и пациентов с хроническими заболеваниями, в том числе со злокачественными, сохраняется высокий риск заболевания тяжелой формой вирусной инфекции COVID-19. Особенно у онкологических больных, в связи с иммуносупрессией на фоне специального лечения, инфекция может вызывать серьезные осложнения. Население пожилого возраста и пациенты с хроническими заболеваниями наиболее подвержены риску заражения, так как вынуждены обращаться в лечебные учреждения. В связи с этим перед социальными значимыми учреждениями стоит важная задача по недопущению распространения инфекции в их стенах. Распространение коронавирусной инфекции актуализирует поиск новых подходов в организации работы онкологической службы и тактики лечения онкологических пациентов, так как пациенты, которые проходят онкологическое лечение, находятся в группе риска и более уязвимы к инфекциям, поэтому одна из задач онкологической службы – найти решения, способствующие их максимальной защите [8, 9].

Цель работы – анализ и организация работы онкологической службы Свердловской области в условиях пандемии COVID-19.

### Материалы и методы исследования

В Свердловской области на диспансерном учете по поводу злокачественных новообразований (ЗНО) состоит 112 191 пациент. Ежегодно впервые диагноз ЗНО выставляется более чем 16 000 пациентам.

В состав структуры Свердловского областного диспансера входят:

1) поликлиника на 820 посещений в смену с ежегодным посещением более 270 000 случаев;

2) диагностическая служба:

– отделения лучевой диагностики на 55 933 исследования в год;

– эндоскопическое отделение на 12 776 исследований в год;

– радиоизотопное отделение на 4 255 исследований в год;

3) круглосуточный стационар включает:

– 15 хирургических отделений на 500 коек;

– 4 отделения противоопухолевой лекарственной терапии на 145 коек;

– 7 отделений радиотерапии на 300 коек;

– 4 отделения анестезиологии и реанимации на 41 койку;

– отделение паллиативной медицинской помощи на 25 коек;

4) дневной стационар включает:

– 3 отделения противоопухолевой лекарственной терапии на 62 койки, работа организована в две смены;

– 2 отделения радиотерапии на 34 койки, из них 30 коек работают в две смены, 4 койки – в одну;

– 1 отделение для лечения злокачественных новообразований кожи на 10 коек.

Схема организации онкологической службы государственным автономным учреждением здравоохранения Свердловской области «Свердловский областной онкологический диспансер» представлена на рис. 1.

В целях предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции в Свердловской области Указом Губернатора от 18 марта № 100-УГ на территории Свердловской области введены ограничительные меры. Приказом Министерства здравоохранения Свердловской области от 27.03.2020 № 471-п определены мероприятия по предупреждению распространения новой коронавирусной инфекции на территории Свердловской области.

В марте 2020 г. изданы приказы главного врача по организации и проведению мероприятий по предупреждению распространения коронавирусной инфекции, организован оперативный штаб по организации работы диспансера в условиях распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19, введены ограничительные меры с целью предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции.

Произведен сравнительный анализ объемов оказания специализированной медицинской помощи в условиях пандемии COVID-19 в сроки до (с января по апрель 2020 г.) и после введения ограничительных мер (с апреля по октябрь 2020 г.): поликлинические посещения (очные консультации – 77701, дистанционные консультации – 58), количество законченных случаев круглосуточного стационаров по видам лечения (10410), из них хирургическое лечение (3312), лучевая терапия (1707), химиотерапия (5391).

### *Результаты и обсуждение показателей 2020 г. в сравнении с аналогичными периодами 2019 г.*

Количество очных консультаций в 1 квартале 2020 г. составило 77 701 случай, за аналогичный период 2019 г. – 55 239 случаев. Рост очных консультаций в первом квартале 2020 г. составил 140,7% от аналогичного показателя в 2019 г.

В период введения ограничений с апреля по октябрь 2020 г. проведено очных консультаций 205 591, за аналогичный период 2019 г. – 164 109. Рост составил 125,3%.

Таким образом, несмотря на ограничительные мероприятия за 9 месяцев 2020 г. проведено очных консультаций 283 292, в 2019 г. за 9 месяцев проведено 219 348, рост составил 129,2%.

Количество проведенных дистанционных консультаций с проведением телемедицинских консультаций (ТМК). Всего проведено ТМК за 9 месяцев 2020 г. 980, в 2019 г. – 85, рост составил 1152,9%, из них в первом квартале 2020 г. ТМК проведено 58, в 2019 г. – 27 ТМК. Рост на 214,8%. Во втором и третьем кварталах 2020 г. проведено 922 ТМК, в 2019 – всего 58 ТМК. Рост – 1589,7%.

Общее количество законченных случаев в круглосуточном стационаре по профилю «онкология» за 9 месяцев 2020 г. (31695) снизилось на 0,7% по сравнению с аналогичным периодом 2019 г. (31931), когда работа в диспансере проводилась без введенных ограничительных мероприятий.

Всего количество законченных случаев в круглосуточном стационаре за первый квартал 2020 г. составило 10506, в 2019 г. – 9491 случай; отмечается рост по первому кварталу 2020 г. 110,7%. После введения ограничительных мероприятий в марте 2020 г. количество законченных случаев за второй и третий квартал 2020 г. снизилось до 21189, в 2019 данный показатель составил 22440. Снижение составило 5,6%.

Количество законченных случаев хирургических методов лечения за 9 месяцев в 2020 г. составило 9695, за аналогичный период в 2019 г. – 10562. Снижение объемов составило 8,2%, несмотря на то, что в первом квартале 2020 г. до введения противоэпидемических мероприятий отмечался рост (3312 законченных случаев в 2020 против 3215 в 2019 г.) на 103,0%.

После введения ограничительных противоэпидемических мероприятий с апреля по октябрь 2020 г. количество законченных случаев составило 6383, в 2019 г. за аналогичный период – 7347, снижение в 2020 г. составило 13,1%.

Количество законченных случаев противоопухолевой лекарственной терапии за 9 месяцев в 2020 г. составило 16059, в 2019 г. – 16488; отмечается снижение в 2020 г. на 2,6%, несмотря на работу отделений противоопухолевой терапии в условиях новой коронавирусной инфекции.

В сравнении с 2019 г. в первом квартале 2020 г. отмечается рост на 110,3% (5391 случай в 2020 г., против 4889 в 2019 г.). Во втором

и третьем кварталах 2020 – 10668, в 2019 – 11599. Снижение в 2020 г. составило 8,0%.

Количество законченных случаев с применением методов лучевой терапии за 9 месяцев в 2020 г. составило 5598, за аналогичный период в 2019 – 4574. Несмотря на работу отделений в условиях новой коронавирусной инфекции и принятых противоэпидемиологических мероприятий рост в 2020 г. составил 122,4%.

До введения ограничительных мероприятий в первом квартале рост количества законченных случаев в круглосуточном стационаре лучевой терапии составил 1707 в 2020 г. и 1289 – в 2019 г. Рост в 2020 г. составил 132,4%. Во втором и третьем кварталах 2020 г. количество законченных случаев с применением методов лучевой терапии составило 3891, за аналогичный период 2019 г. – 3285; рост в 2020 г. составил 118,4%.

Количество законченных случаев паллиативных методов лечения за 9 месяцев в 2020 г. составило 343, за 2019 г. – 307. Несмотря на работу отделений в условиях новой коронавирусной инфекции и принятых противоэпидемиологических мероприятий рост в 2020 г. составил 111,7%.

До введения ограничительных мероприятий в первом квартале 2020 г. рост количества законченных случаев в круглосуточном стационаре отделения паллиативного лечения составил 96 и 98 – в 2019 г. Снижение в первом квартале 2020 г. составило 2,0%. Во втором и третьем кварталах 2020 г. количество законченных случаев паллиативного лечения составило 247, за аналогичный период 2019 г. – 209; рост в 2020 г. составил 118,2%.

#### *Работа отделений дневного стационара*

Всего количество законченных случаев по дневному стационару составило за 9 месяцев 2020 г. 11284, за аналогичный период 2019 г. – 7037; рост в 2020 г. составил 160,4%. В первом квартале 2020 г. данный показатель составил 2687, за аналогичный период в 2019 г. – 2159. Рост в 2020 г. составил 124,5%.

Во втором и третьем кварталах 2020 г. количество законченных случаев по дневному стационару составило 8597, за этот период 2019 г. – 4878; рост в 2020 г. составил 176,2%. Из них количество законченных случаев противоопухолевой лекарственной терапии за 9 месяцев 2020 г. составило 9892, в 2019 г. – 7037 случаев. Несмотря на работу отделений противоопухолевой терапии в условиях новой коронавирусной инфекции и принятых противоэпидемиологических мероприятий отмечается рост в 2020 г. 140,6%.

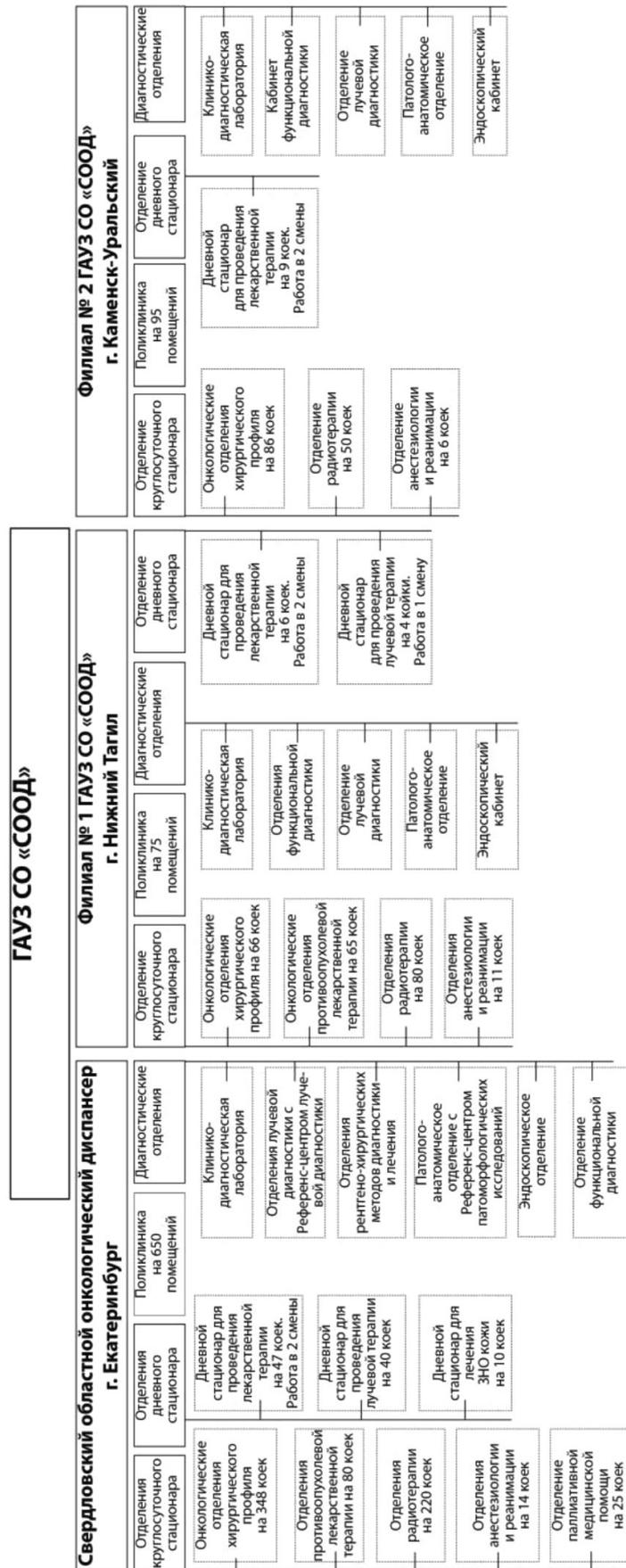


Рис. 1. Схема организации онкологической службы государственным автономным учреждением здравоохранения Свердловской области «Свердловский областной онкологический диспансер»

В первом квартале 2020 г. составил 2286, в 2019 г. – 2159 (рост в 2020 г. – 105,9%); во втором и третьем кварталах 2020 г. – 7606, в 2019 г. – 4878 (рост в 2020 г. составил 155,9%).

Кроме того, в 2020 г. были внедрены новые услуги:

- с апреля 2020 г. открыт дневной стационар лучевой терапии; количество законченных случаев по лучевой терапии – 401;
- в сентябре 2020 г. открыт дневной стационар кожи; количество законченных случаев в данном отделении составило 249.

С целью обеспечения непрерывного лечения и наблюдения за онкологическими больными, в том числе и снижения риска инфицирования COVID-19 как пациентов, так и сотрудников, в СООД произведена реорганизация работы согласно действующим временным методическим рекомендациям Министерства здравоохранения Российской Федерации в условиях пандемии COVID-19. Особые меры приняты по допуску пациентов и сотрудников в учреждение, порядку плановой госпитализации и контролю состояния пациентов, получающих стационарную и амбулаторную медицинскую помощь, порядку оказания помощи в случае выявления пациентов или сотрудников с подозрением на COVID-19. В СООД создан неснижаемый месячный запас. Весь медицинский персонал прошел обучение диагностике и оказанию догоспитальной помощи пациенту при подозрении на COVID-19. Для снижения нагрузки на стационарные отделения и соблюдение социальной дис-

танции предпочтение отдается лечению в условиях дневного стационара (химиотерапия, лучевая терапия).

В СООД организованы пропускные пункты через четыре входа, где проводится дистанционная термометрия, санитарная обработка рук и контроль соблюдения масочного режима. В СООД ограничен доступ для посетителей и ухаживающих за пациентами, все передачи организованы централизованно через пропускной пункт. На основании временных рекомендаций разработан и внедрен алгоритм, согласно которому при гипертермии выше 37°C пациентам с целью снижения рисков заражения персонала и всех присутствующих в здании СООД доступ запрещен. Схема маршрутизации пациентов в период введения ограничительных мероприятий в ГАУЗ СО «Свердловский областной онкологический диспансер» представлена на рис. 2.

Пациентам, у которых был выявлен COVID-19 или пациентам с подозрением на него, рекомендовался режим самоизоляции на дому с обязательным информированием по телефону участкового терапевта по месту жительства. Для снижения рисков передачи коронавирусной инфекции в регистратуре и диагностических центрах и в филиалах разделены потоки пациентов, направленных на госпитализацию. Пациенты, направленные на плановую госпитализацию на противоопухолевую лекарственную терапию, оформляются с 08:00 до 12:00, а на плановое хирургическое лечение – обращаются до 13:00.



Рис. 2. Схема маршрутизации пациентов в ГАУЗ СО «Свердловский областной онкологический диспансер»

В приемном отделении проводится термометрия поступающих и обязательный сбор эпидемиологического анамнеза. При посещении поликлиники перед госпитализацией пациентам выдается чек-лист с указанием при поступлении предоставить результат на COVID-19 методом ПЦР не старше 7 дней. При отсутствии возможности проведения данного исследования по месту жительства пациентам предоставляется возможность сдать данное исследование за несколько дней до госпитализации на базе ГАУЗ СО «СООД» (ежедневно, кроме выходных, с 13.00 до 15.00). В случае отсутствия при поступлении результатов обследования на COVID-19 методом ПЦР у пациентов в приемном покое отбирается кровь для проведения контроля наличия антител новой коронавирусной инфекции методом экспресс-теста. Пациенты с отрицательными результатами и наличием G госпитализируются, при наличии M у пациента сразу берут мазок на COVID-19 методом ПЦР и отправляют его по месту жительства до получения результата.

С целью уменьшения количества посетителей в поликлинике онкологического диспансера организована консультация пациентов посредством телемедицинских консультаций по модели «врач – пациент». В 2019 г. ТМК по модели «врач – пациент» не проводилась, в 2020 г. с апреля по октябрь проведено 494 ТМК.

Начало работы референсного центра лучевой диагностики (открытие в июле 2020 г.) позволило осуществлять передачу данных о состоянии пациента, данных обследования. Онкологи первичных медицинских кабинетов направляют специалистам референс-центра СООД данные обследования пациентов в электронной форме, и далее коллегиально принимается аудит и решение по тактике ведения, при необходимости очного осмотра назначается дата и время приема в СООД.

С июня 2020 г. референс-центром проведено:

- телерадиологических консультаций – 917;
- телеаудит рентгенорадиологических исследований – 742;
- МРТ – 148 диагностических исследований.

Кроме противоэпидемических мероприятий, предпринятых в отношении пациентов, реализованы и противоэпидемические мероприятия в отношении сотрудников СООД, ежедневно на входе в учреждение проводится обязательная термометрия сотрудников, при выявлении повышенной температуры данные о сотруднике вносятся

в журнал. Сотруднику с повышенной температурой вход в медицинскую организацию запрещен, сотрудник информирует своего непосредственного руководителя о недопуске на работу. В структурных подразделениях выполняется обязательная двукратная термометрия в начале и в конце рабочего дня с внесением данных в листы наблюдений. При гипертермии более 37°C, наличии симптомов острой респираторной вирусной инфекции (ОРВИ) сотрудник отстраняется от работы. Им рекомендуется режим самоизоляции, вызов участкового терапевта с оформлением листа временной нетрудоспособности. Также сотрудникам отделений, согласно графику, проводится плановый забор мазков из носоглотки и ротоглотки на COVID-19.

### Результаты исследования и их обсуждение

В нашем исследовании рассматривается число законченных случаев оказания медицинской помощи по профилю «Онкология» за 9 месяцев текущего года. Февраль как относительно благополучный месяц по эпидемиологической обстановке, март – переходный период и апрель как месяц работы в условиях жестких противоэпидемиологических мероприятий.

В таблице представлены показатели работы СООД по количеству случаев в сравнении с первым, вторым и третьим кварталами 2020 г.

В приведенной таблице отмечается некоторое различие в показателях работы структурных служб учреждения. Так, в показателях работы поликлиники можно обратить внимание на резкое увеличение количества очных консультаций врача-онколога не только в первом квартале 2020 г. (до введения противоэпидемических мероприятий); в сравнении с аналогичным периодом 2019 г. рост составил 140,7%.

В сравнении с работой поликлиники во втором и третьем кварталах 2020 г. и аналогичным периодом в 2019 г. рост составил 125,3%.

Если сравнивать работу поликлинической службы учреждения за 9 месяцев в 2020 г. с аналогичным периодом 2019 г., то рост составил 129,2%.

Число дистанционных консультаций в первом квартале 2020 г. составил 58, рост – на 214,8% от показателя первого квартала 2019 г. (27 ТМК).

Проведено телемедицинских консультаций во втором и третьем кварталах 2020 г. 922, в 2019 г. – 58; рост составил 1589,7%, что демонстрирует тенденцию к росту на фоне пандемии COVID-19.

Количество случаев оказания медицинской помощи в течение 9 месяцев (в абс. числах, %)

Вид оказания МП	2019 год			2020 год		
	I квартал	III квартал	итого	I квартал	III квартал	итого
<b>Поликлинические посещения (очные консультации и консилиумы)</b>	<b>55239</b>	<b>164109</b>	<b>219348</b>	<b>77701</b>	<b>205591</b>	<b>283292</b>
				<i>140,7</i>	<i>125,3</i>	<i>129,2</i>
<b>Телемедицинские консультации</b>	<b>27</b>	<b>58</b>	<b>85</b>	<b>58</b>	<b>922</b>	<b>980</b>
				<i>214,8</i>	<i>1589,7</i>	<i>1152,9</i>
<b>Количество законченных случаев в круглосуточном стационаре, из них:</b>	<b>9491</b>	<b>22440</b>	<b>31931</b>	<b>10506</b>	<b>21189</b>	<b>31695</b>
				<i>110,7</i>	<i>94,4</i>	<i>99,3</i>
хирургическое лечение	<b>3215</b>	<b>7347</b>	<b>10562</b>	<b>3312</b>	<b>6383</b>	<b>9695</b>
				<i>103,0</i>	<i>86,9</i>	<i>91,8</i>
химиотерапевтическое лечение	<b>4889</b>	<b>11599</b>	<b>16488</b>	<b>5391</b>	<b>10668</b>	<b>16059</b>
				<i>110,3</i>	<i>92,0</i>	<i>97,4</i>
лучевая терапия	<b>1289</b>	<b>3285</b>	<b>4574</b>	<b>1707</b>	<b>3891</b>	<b>5598</b>
				<i>132,4</i>	<i>118,4</i>	<i>122,4</i>
паллиативное лечение	<b>98</b>	<b>209</b>	<b>307</b>	<b>96</b>	<b>247</b>	<b>343</b>
				<i>98,0</i>	<i>118,2</i>	<i>111,7</i>
<b>Количество законченных случаев в дневном стационаре, из них:</b>	<b>2159</b>	<b>4878</b>	<b>7037</b>	<b>2687</b>	<b>8597</b>	<b>11284</b>
				<i>124,5</i>	<i>176,2</i>	<i>160,4</i>
химиотерапевтическое лечение	<b>2159</b>	<b>4878</b>	<b>7037</b>	<b>2286</b>	<b>7606</b>	<b>9892</b>
				<i>105,9</i>	<i>155,9</i>	<i>140,6</i>
дневной стационар кожи			<b>0</b>		<b>249</b>	<b>249</b>
лучевая терапия				<b>401</b>	<b>742</b>	<b>1143</b>

В целом отмечается рост количества проведенных дистанционных телеконсультаций за девять месяцев в 2020 г. на 1152,9% в сравнении с аналогичным периодом в 2019 г. Рост осуществлялся за счет внедрения дистанционных консультаций по модели «врач – пациент» и активизации дистанционных консультаций с федеральными НМИЦ онкологии.

Количество законченных случаев в круглосуточном стационаре до введения ограничительных мероприятий в первом квартале 2020 г. (10506 – в 2020 г., и 9491 – в 2019 г.) возросло на 110,7% в сравнении с данными аналогичного периода 2019 г.

Во втором и третьем кварталах 2020 г. отмечается снижение количества на 5,6% (в 2019 г. – 22 440, в 2020 г. – 21189), что отражает результаты введенных указом Губернатора Свердловской области ограничительных и противоэпидемических мероприятий.

В целом работа отделений за девять месяцев составила 94,4% в сравнении с аналогичным периодом 2019 г.

Работа отделений хирургического профиля в первом в квартале 2020 г. составила 3312 в 2020 г. при 3215 законченных случаев в первом квартале 2019 г. Рост составил 3,0% к аналогичному периоду 2019 г.

Во втором и третьем кварталах 2020 (количество законченных случаев 6383) отмечается снижение оперативной активности до 86,9% по сравнению с аналогичным периодом в 2019 г. (7347), и связано это с тщательным отбором пациентов на операцию, отказом от расширенных и требующих длительного пребывания в стационаре хирургических операций (микрохирургических операций, эвисцерации таза и прочее).

В целом работа отделений хирургического профиля за девять месяцев в 2020 г. (9695) составила 91,8% в сравнении с аналогичным периодом 2019 г. (10562).

Такая же тенденция наблюдается и в отделениях противоопухолевой лекарственной терапии: в первом квартале 2020 г. (5391) работа отделения возросла на 110,3% в сравнении с аналогичным периодом в 2019 г. (4889).

Во втором и третьем кварталах 2020 г. (10668) отмечается снижение показателей работы до 92% по сравнению с аналогичным периодом в 2019 г. (11599), и связано это также с тщательным отбором пациентов на лечение.

В целом работа отделений за девять месяцев 2020 г. составила 16059, в сравнении с аналогичным периодом 2019 г. (16488) отмечено снижение показателей до 97,4%.

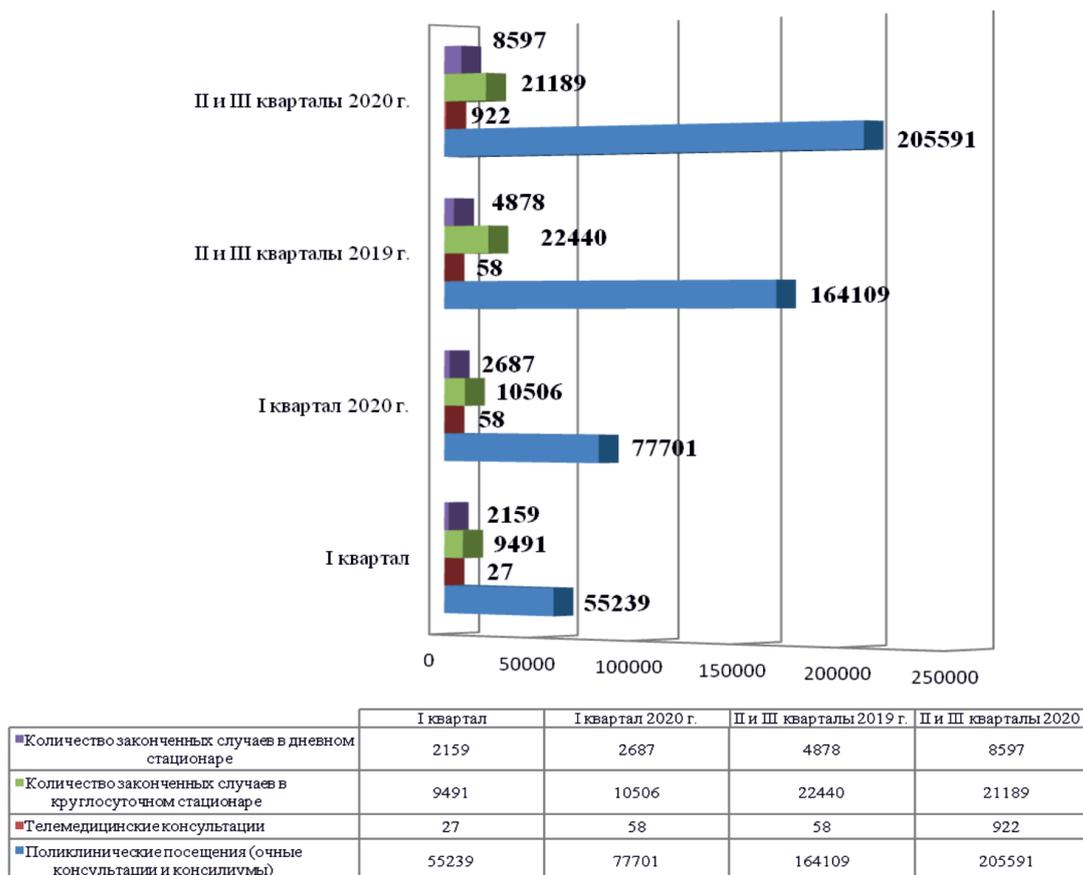


Рис. 3. Динамика работы ГАУЗ СО «СООД» за 9 месяцев 2020 г. в сравнении с аналогичным периодом 2019 г.

В конце 2019 г. были внесены организационные структурные изменения и дополнения в работе отделений лучевой терапии. За 9 месяцев работа отделений лучевой терапии в 2020 г. (5598) возросла на 122,4% в сравнении с аналогичным периодом в 2019 г. (4574).

Отмечается рост законченных случаев как в первом квартале 2020 г. (132,4%), так и во втором и третьем кварталах 2020 г. (118,4%) в сравнении с аналогичными периодами 2019 г. Также отмечается увеличение количества законченных случаев в отделении паллиативного лечения до 111,7%: в 2020 г. количество законченных случаев – 343, показатели аналогичного периода в 2019 г. – 307.

В сравнении с 2019 г. (98) в первом квартале 2020 г. (96) отмечается снижение данного показателя на 2%. Однако во втором и третьем кварталах 2020 г. (247) отмечается рост на 18,2% за аналогичный период 2019 г. (209).

Отмечается увеличение количества законченных случаев в дневном стационаре

до 160,4%, при незначительном уменьшении в круглосуточном стационаре – 99,3%.

В работе дневного стационара отделений противоопухолевой лекарственной терапии, как и в первом квартале 2020 г. (2687), рост составил 5,9% к аналогичному периоду в 2019 г. (2159), так и во втором и третьем кварталах 2020 г. (7606) рост составил 55,9% к аналогичному периоду 2019 г. (4878).

В целом отмечается рост работы отделений за 9 месяцев в 2020 г. (9892) в сравнении с аналогичным периодом 2019 г. на 40,6%.

Рост показателей обусловлен и открытием при дневном стационаре Центра онкодерматологии и отделения лучевой терапии.

Динамика работы ГАУЗ СО «СООД» за 9 месяцев 2020 г. в сравнении с аналогичным периодом 2019 г. представлена на рис. 3.

### Заключение

Полученные данные работы онкологической службы в период пандемии COVID-19 позволяют сделать вывод об эф-

фективности противоэпидемических мероприятий, принятых ГАУЗ СО «СООД». Соответствующая организация работы онкологической службы региона, согласно требованиям и с учетом эпидемиологической обстановки, позволяет продолжить оказание специализированной помощи населению и минимизирует риски заражения пациентов и сотрудников. На фоне быстрого распространения инфекции одним из важных условий для ЛПУ становится разграничение потоков пациентов с положительным и отрицательным тестами на COVID-19, организация минимизации посещений пациентами онкологического диспансера и его филиалов, использование возможности телемедицинских консультаций для общения с пациентами и сбор врачебных комиссий (консилиумов) в режиме онлайн, позволяющий продолжать использование междисциплинарного подхода в терапии пациентов.

В целом организация работы онкологической службы в Свердловской области в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 включает в себя следующее [4]:

1) организацию постов контроля для выяснения причин прихода в учреждение, дистанционного измерения температуры для выявления пациентов и сотрудников с гипертермией;

2) запрет на посещение учреждения посторонними лицами, в том числе посещение пациентов визитерами;

3) организацию работы с условием установки физического барьера в холлах, в регистратурах, сестринских постах, врачебных кабинетах с соблюдением дистанционного барьера 1,5 м;

4) оснащение рабочих помещений в холлах, коридорах, в кабинетах медперсонала и в палатах стационарных больных дозаторами дезинфицирующих средств, обеспечение регулярной дезинфекции всех помещений учреждения;

5) минимизацию использования систем кондиционирования воздуха типа сплит-систем, которые ухудшают естественную рециркуляцию воздуха;

6) ограничение перемещения пациентов, находящихся в стационаре, между отделениями стационара и запрет их выхода из здания;

7) организацию питания больных в палатах;

8) минимизацию посещений онкологическими больными учреждения в период пандемии.

С этой целью определены онкологические пациенты, попадающие в группу риска по тяжелому течению COVID-19 [4]:

- пациенты старше 65 лет;
- пациенты с сопутствующими хроническими заболеваниями сердечно-легочной системы;
- пациенты, получающие химиотерапию;
- пациенты с ожирением (ИМТ > 40);
- пациенты, получающие иммуносупрессивную терапию;
- пациенты с декомпенсированными состояниями, например сахарным диабетом.

Особенно высокому риску подвержены пациенты с немелкоклеточным раком легкого в возрасте старше 60 лет. В связи с этим больные были разделены на три категории:

1. Пациенты, нуждающиеся в немедленном начале лечения онкологического заболевания или продолжении лекарственного лечения, поскольку риски прогрессирования или смерти от основного заболевания выше риска инфицирования SARS-CoV-2.

2. Пациенты, которым можно отложить начало терапии (например, пациенты, уже получившие несколько линий паллиативной химиотерапии по поводу прогрессирования онкологического процесса и не имеющие симптомов заболевания).

3. Пациенты, находящиеся под наблюдением без признаков болезни и/или прогрессирования, у которых следует отменить визиты в ближайшие 2–3 месяца и/или провести их удаленно.

### Выводы

1. Организация работы онкологической службы в условиях пандемии COVID-19 является крайне актуальной и позволяет, прежде всего, сохранить приоритеты оказания помощи данной категории больных.

2. Соответствующая организация работы онкологического учреждения региона в период пандемии COVID-19 согласно требованиям и с учетом эпидемиологической обстановки позволяет продолжить оказание специализированной помощи населению и минимизирует риски заражения пациентов и сотрудников.

3. Работа крупного многопрофильного стационара в условиях пандемии COVID-19 может продолжаться также эффективно при условии соблюдения всех противоэпидемических требований и рекомендаций.

### Список литературы

1. Kannan S., P. Shaik Syed Ali, A. Sheeza, K. Hemalatha COVID-19 (Novel Coronavirus 2019) – recent trends. European Review for Medical and Pharmacological Sciences. 2020. № 24. P. 2006–2011.
2. Zhu N., Zhang D., Wang W. China Novel Coronavirus Investigating and Research Team. 2020. A novel coronavirus

from patients with pneumonia in China, 2019. *N. Engl. J. Med.* 2020. № 382. P. 727–733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017.

3. Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi. Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. 2020. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China. 2020. № 41. P. 145–151. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.003.

4. Практические рекомендации Российского общества клинической онкологии по оказанию онкологической помощи в условиях пандемии COVID-19. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosoncweb.ru/standarts/COVID-19> (дата обращения: 22.03.2021).

5. Никифоров В.В., Суранова Т.Г., Миронов А.Ю. Пандемия коронавирусной инфекции COVID-19. Алгоритм действий медицинских работников поликлиники при выявлении больного с подозрением на данный вирус // Медицинский алфавит. 2020. № 2. С. 6–13.

6. Двойников С.И. COVID-19, риски, безопасность труда специалистов со средним медицинским образованием // Медсестра. 2020. № 8. С. 11–27.

7. Li Q., Guan X., Wu P. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N. Engl. J. Med.* 2020. DOI: 10.1056/NEJMoa2001316.

8. Диагностика и лечение коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия 5, от 08.04.2020) – (Временные) Методические рекомендации Минздрава РФ. [Электронный ресурс]. URL: [http://disuria.ru/load/zakonodatelstvo/metodicheskie\\_rekomendacii\\_mz\\_rf/diagnostika\\_i\\_lechenie\\_koronavirusnoj\\_infekcii\\_COVID\\_19\\_versija\\_4\\_vremennye\\_metodicheskie\\_rekomendacii\\_minzdrava\\_rf\\_ot\\_27\\_03\\_2020/46-1-0-678](http://disuria.ru/load/zakonodatelstvo/metodicheskie_rekomendacii_mz_rf/diagnostika_i_lechenie_koronavirusnoj_infekcii_COVID_19_versija_4_vremennye_metodicheskie_rekomendacii_minzdrava_rf_ot_27_03_2020/46-1-0-678) (дата обращения: 22.03.2021).

9. Состояние онкологической помощи населению России в 2018 г. / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. С. 41–49.

УДК 616.36-07

**НЕАЛКОГОЛЬНЫЕ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ: СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ****<sup>1</sup>Пономарева И.П., <sup>2</sup>Дьякова Е.М., <sup>3</sup>Путивцева О.С., <sup>3</sup>Лебедева О.Н.**<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,  
Белгород, e-mail: shepeleva.ponomarewa@yandex.ru;<sup>2</sup>ОГБУЗ «Инфекционная клиническая больница им. Е.Н. Павловского», Белгород;<sup>3</sup>ОГБУЗ «Городская больница № 2 г. Белгорода», Белгород

В статье приводится краткий обзор литературы по вопросам дифференциальной эхографической диагностики неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП). Показано, что современные методики ультразвукового исследования позволяют проводить раннюю оценку заболеваний печени, выявлять паттерны неблагоприятного клинического прогноза. Выявлено, что неалкогольная жировая болезнь печени объединяет следующие клинико-морфологические формы: стеатоз, неалкогольный стеатогепатит и цирроз печени. Ультразвуковое исследование, проводимое с целью диагностики НАЖБП, должно включать доплерографию сосудов печени с использованием цветового доплеровского картирования, импульсно-волнового доплера, тканевой гармоник. Это может быть эффективным диагностическим методом. Общими ультразвуковыми признаками стеатоза при проведении рутинного исследования с применением серошкальной шкалы являются следующие: гепатомегалия, форма печени не нарушена, контур четкий, ровный, закругленный; диффузное уплотнение паренхимы печени с повышением ее эхогенности и снижением звукопроводимости, что пропорционально степени выраженности стеатоза; обеднение и сглаженность сосудистого рисунка, что связано с повышением эхогенности паренхимы печени. Сначала затруднена визуализация мелких сосудов, а затем и более крупных. Появляется эффект дистального затухания эхосигнала. Применение неинвазивных методов оценки эластичности паренхимы печени в сочетании со сканированием в В-режиме и доплерографией становится частью стандартного обследования пациентов с болезнями печени, так как диагностика при помощи биопсии не всегда применима.

**Ключевые слова:** сонография, болезни печени, стеатоз, диагностика, эластография**NON-ALCOHOLIC LIVER DISEASES: MODERN OPPORTUNITIES OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS****<sup>1</sup>Ponomareva I.P., <sup>2</sup>Dyakova E.M., <sup>3</sup>Putivtseva O.S., <sup>3</sup>Lebedeva O.N.**<sup>1</sup>Belgorod State national research University, Belgorod, e-mail: shepeleva.ponomarewa@yandex.ru;<sup>2</sup>OGBUZ «Infection hospital of Belgorod», Belgorod;<sup>3</sup>OGBUZ «City hospital № 2 of Belgorod», Belgorod

The article provides a brief review of the literature on the differential echographic diagnosis of non-alcoholic fatty liver disease. It has been shown that modern ultrasound techniques make it possible to carry out an early assessment of liver diseases and identify patterns of unfavorable clinical prognosis. It was revealed that non-alcoholic fatty liver disease combines the following clinical and morphological forms: steatosis, non-alcoholic steatohepatitis and liver cirrhosis. Ultrasound examination carried out to diagnose liver diseases should include Doppler ultrasonography of the liver vessels using color Doppler mapping, pulsed wave Doppler, tissue harmonics. This can be an effective diagnostic tool. The general ultrasound signs of steatosis during a routine examination using a gray-scale scale are as follows: hepatomegaly, the shape of the liver is not disturbed, the contour is clear, even, rounded; diffuse compaction of the liver parenchyma with an increase in its echogenicity and a decrease in sound conductivity, which is proportional to the severity of steatosis; depletion and smoothness of the vascular pattern, which is associated with an increase in the echogenicity of the liver parenchyma. At first, it is difficult to visualize small vessels, and then larger ones. The distal echo decay effect appears. The use of non-invasive methods for assessing the elasticity of the liver parenchyma in combination with B-mode scanning and Doppler ultrasonography is becoming part of the standard examination of patients with liver disease, since biopsy diagnosis is not always applicable.

**Keywords:** sonography, liver disease, steatosis, diagnosis, elastography

Печень выполняет в организме ряд важных функций, является главным метаболическим центром для поддержания гомеостаза. Около 300 миллиардов гепатоцитов здоровой печени функционируют как железы смешанной секреции, в них происходят тысячи биохимических реакций. Основными функциями печени являются: пищеварительная, белково-синтетическая, обменная (участие в обмене углеводов, липидов,

витаминов, пигментов, белков), регуляция гемокоагуляции, иммунитета, барьерная функция, метаболизм гормонов [1].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в последние годы отмечается увеличение числа заболеваний печени в общей структуре хронических заболеваний, среди которых первые позиции занимает неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП). Анализ литературных

источников показал, что ее распространенность может составлять от 20% до 40%. В Российской Федерации частота выявления НАЖБП выросла в 1,5–2,0 раза [2]. НАЖБП включает в себя следующие клинико-морфологические формы: стеатоз, неалкогольный стеатогепатит и цирроз печени. Важным отличительным признаком неалкогольного поражения печени является отсутствие употребления пациентом алкоголя в гепатотоксической дозе: для мужчин это более 40 г/сут. чистого этанола, для женщин более 20 г/сут. [2].

В литературных источниках НАЖБП описывается как составляющая метаболического синдрома, к которому относят также инсулинорезистентность с относительной гиперинсулинемией; нарушение толерантности к углеводам или инсулиннезависимый сахарный диабет; ожирение; артериальную гипертензию; атерогенную дислипидемию; микропротеинурию; уменьшение фибринолитической активности в сыворотке крови; уменьшение VII фактора свертывания в сыворотке крови; гиперурикемию и/или подагру; ночное obstructивное апноэ; поликистоз яичников. Специалисты отмечают, что в практике часто встречается неполный метаболический синдром, под которым следует понимать наличие только 2–3 признаков [3].

Учитывая клиническую значимость НАЖБП, малосимптомность начальных стадий, важность своевременного лечения, необходимо сказать о современных методах диагностики заболеваний печени и правильной интерпретации данных. Среди прочих прижизненных методов диагностики патологии печени одно из главных мест занимает ультразвуковое исследование (УЗИ) как наиболее доступный, неинвазивный скрининговый метод.

Все вышесказанное определило *цель* данного обзора – описание современных возможностей ультразвукового метода и сонографических критериев диагноза НАЖБП, так как на фоне возросшей частоты фиброзно-цирротических поражений печени актуализируются вопросы своевременного выявления и лечения НАЖБП.

Все известные методы диагностики и верификации стеатоза печени, играющего значимую роль в патогенезе цирроза, можно разделить на инвазивные (биопсия печени), малоинвазивные (биохимические, серологические) и неинвазивные (ультразвуковая и компьютерная диагностика).

Стеатоз печени характеризуется повышенным накоплением жира в гепатоцитах, отличается от стеатогепатита отсутствием некроза гепатоцитов и воспалительной ин-

фильтрации в строме. Анализ литературы позволил нам выделить несколько групп патогенных факторов, имеющих первостепенное значение в развитии патологии печени и влияющих на состояние ее паренхимы:

- 1) токсические факторы;
- 2) алиментарные факторы;
- 3) метаболические нарушения;
- 4) хроническая гипоксия [4].

При этом повреждение может проявляться в форме неалкогольного стеатоза или стеатогепатита.

По мнению ряда авторов, стеатоз развивается постепенно и в своем развитии проходит несколько стадий:

- 1) первоначальное накопление жиров в цитоплазме гепатоцита, которое не приводит к деструкции клетки, сохраняется ее внутренняя дифференциация;
- 2) развитие некробиоза клеток печени;
- 3) перестройка архитектоники печени и нарушение ее дольковой структуры [2, 4].

По данным морфологических исследований, возможно развитие мелкокапельной и крупнокапельной жировой дистрофии гепатоцитов. Более тяжелой формой является мелкокапельное повреждение, когда в цитоплазме клетки накапливаются включения фосфолипидов. Ядро клетки не смещается к периферии. При этом цитоплазма имеет пенистый вид. Такая перестройка клетки приводит к нарушению процессов окисления в митохондриях, дефициту энергии, некрозу клетки [5].

Наиболее частой формой повреждения гепатоцитов при стеатозе является крупнокапельная дистрофия, когда в цитоплазме появляются одна или две крупные капли нейтрального жира, смещающие ядро клетки к периферии. Такая морфологическая картина при отсутствии других признаков является основанием для постановки диагноза стеатоза. Морфологическая градация степени тяжести стеатоза осуществляется полуколичественным методом по количеству пораженных гепатоцитов в биоптате: 0 – менее 5%; 1 – от 5% до 33%; 2 – от 33% до 66%; 3 – более 66% [5, 6].

Применение биопсии печени целесообразно только в том случае, когда риск проведения данной манипуляции не превышает ее пользу для пациента. Безусловной альтернативой в данном случае являются неинвазивные методики.

Ультразвуковое исследование, выполненное на современном аппарате и включающее доплерографию сосудов печени с использованием цветового доплеровского картирования, импульсно-волнового доплера, тканевой гармоникой, может быть эффективным диагностическим методом в 70% случаев [7].

Нужно отметить, что по данным УЗИ дифференцировать стеатоз и стеатогепатит нельзя, как и стеатогепатит алкогольный и неалкогольный [7].

В специальной литературе существует традиционное описание сонографической картины здоровой печени, когда неизменная паренхима представляет собой мелкозернистое однородное изображение, по всей поверхности визуализируемого среза лоцируются мелкие трубчатые структуры, являющиеся протоками и сосудами печени. Крупная зернистость паренхимы печени может рассматриваться как вариант нормы при условии сохранения ее однородности.

Известным эталоном нормальной эхогенности паренхимы печени является таковая в корковом слое почки. В некоторых случаях изменение данной эхографической характеристики может рассматриваться как норма (например, гиперэхогенность в области ворот печени или гипозэхогенность хвостатой доли) [8]. Важным критерием сонографического заключения является также звукопроводимость, которая в норме позволяет визуализировать глубокие слои печени и диафрагму. При наличии стеатоза это становится невозможным, возникает эффект затухания эхосигнала к периферии [7, 8].

Основными ультразвуковыми показателями при исследовании печени являются следующие нормальные характеристики: косой вертикальный размер (КВР) правой доли печени, по данным разных авторов, в норме до 15 см (заключение о наличии гепатомегалии делают при увеличении данного показателя более 17 см), КВР левой доли печени в норме до 6–8 см; диаметр воротной вены в норме 0,8–1,2 см, до 1,3 см; диаметр нижней полой вены до 1,8 см; диаметр холедоха до 0,3–0,5 см. Признаком портальной гипертензии является диаметр воротной вены более 1,4 см. Диаметр селезеночной вены в норме 0,6–0,8 см, диаметр верхней брыжеечной вены в норме до 0,8–1,1 см, на выдохе 0,4–0,6 см, если на выдохе диаметр верхней брыжеечной вены уменьшается вдвое и более, то портальная гипертензия отсутствует [8].

При описании структуры печени для диагностики жировой дистрофии учитывают следующие сонографические характеристики: наличие гепатомегалии, округлый контур нижнего края печени, однородность структуры, гиперэхогенность, сложенность зернистости при уменьшении звукопроводимости, обеднение и сглаженность сосудистого рисунка [8, 9].

Общими ультразвуковыми признаками стеатоза при проведении рутинного исследова-

ния с применением серошкальной шкалы являются следующие:

- 1) гепатомегалия, форма печени не нарушена, контур четкий, ровный, закругленный;
- 2) диффузное уплотнение паренхимы печени с повышением ее эхогенности и снижением звукопроводимости, что пропорционально степени выраженности стеатоза;
- 3) обеднение и сглаженность сосудистого рисунка, что связано с повышением эхогенности паренхимы печени; сначала затруднена визуализация мелких сосудов, а затем и более крупных;
- 4) появление эффекта дистального ослабления эхосигнала [9].

Анализ литературы по теме исследования показывает, что изменения, характерные для стеатоза, могут диффузно распространяться по всей поверхности печени или же образовывать изолированные участки жировой инфильтрации (очаговая форма).

На основании вышесказанного выделяют сонографические степени выраженности стеатоза:

I степень – незначительное диффузное увеличение эхо-сигналов в паренхиме печени, нормальная визуализация границ диафрагмы и внутриворотных сосудов;

II степень – уплотнение паренхимы печени с повышением ее эхогенности, выраженное обеднение сосудистого рисунка; визуализация крупных сосудов, границ диафрагмы; эффект дорсального затухания эхосигнала;

III степень – структура печени значительно уплотнена; выраженное обеднение сосудистого рисунка, при котором даже крупные сосуды печени просматриваются очень плохо; диафрагма не визуализируется; выраженный эффект дорсального затухания эхосигнала, при котором нижний край печени практически не визуализируется [9, 10].

По данным литературы, метод УЗИ является высокочувствительным в диагностике тяжелой степени стеатоза и имеет наименьшую эффективность при выявлении легкой степени стеатоза.

Ультразвуковыми признаками цирроза являются следующие:

- 1) увеличение краниокаудального размера печени более 15 см;
- 2) косо-вертикальный размер больше 17 см;
- 3) толщина левой доли более 8 см;
- 4) толщина хвостатой доли более 2 мм, ее краниокаудальный размер более 8 см;
- 5) заостренный нижний край печени;
- 6) бугристость контура за счет узловой регенерации паренхимы (специфичность этого признака при крупноузловом циррозе составляет 98%);

7) гиперэхогенность паренхимы, неоднородность зернистости печени и отсутствие мелкососудистого рисунка по периферии;

8) четкое прослеживание контура диафрагмы;

9) отсутствие эффекта дистального затухания эхосигнала [10].

При доплерографии отмечаются замедление кровотока, обратный ток крови в воротной вене, увеличение скорости и объема кровотока в печеночной артерии.

В последние годы возрастает потребность в неинвазивных методах диагностики заболеваний печени, патогенез которых составляют прогрессирующий склероз и фиброз паренхимы. Определение эластичности ткани возможно с применением ультразвуковых систем с функцией различных видов эластографии:

1) статической или компрессионной;

2) динамической с оценкой показателей распределения сдвиговых волн.

Статическая эластография позволяет провести оценку эластичности ткани при помощи компрессии ультразвуковым датчиком, которую осуществляет врач-оператор с частотой 2 раза в секунду. Этот метод не дает возможности получить числовые показатели модуля упругости в килопаскалях (кПа) и числовые показатели эластичности печени.

Цветное картирование зоны интереса в данном случае может показать различную плотность паренхимы и является удобным при скрининге локальных образований в печени. Для оценки диффузных поражений при фиброзе данный метод неэффективен. Оценить эластичность печени можно при помощи динамической (транзиентной) эластографии, которую проводят с использованием аппарата Fibroscan (Echosens, Франция) [11]. Методика описана в специальной литературе, поэтому в рамках данной статьи мы не будем подробно останавливаться на вопросах проведения процедуры. Основой метода является механическая вибрация, которая генерирует упругие поперечные волны, скорость их распространения выражается в килопаскалях, при этом она прямо коррелирует с упругостью ткани: чем больше плотность ткани, тем быстрее распространяется поперечная волна.

Согласно отчетам Европейской федерации обществ ультразвука в медицине и биологии (EFSUMB), референсные значения выше 1,5–5,8 кПа говорят об отсутствии фиброза; 5,9–7,2 кПа соответствуют 1-й степени фиброза; 7,3–9,5 кПа – 2-й степени фиброза; 9,6–12,5 кПа – 3-й степени; более 12,5 кПа – 4-й степени, имеется цирротическое поражение [11]. Ограничениями к при-

менению данной методики являются тяжелые степени ожирения пациента и асцит.

Необходимость доступной количественной оценки жесткости ткани, выраженной как модуль Юнга (кПа) или скорость сдвиговой волны (м/с), привела к созданию современных ультразвуковых систем, применение которых позволяет получить значение эластичности ткани печени в режиме реального времени. Значение скорости сдвиговой волны можно переводить в значения модуля Юнга по следующей формуле:  $E \approx 3\rho cs^2$  (Па) где  $E$  – модуль Юнга (Па),  $\rho$  – плотность ткани ( $\approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>),  $cs$  – скорость сдвиговой волны (м/с). Повышение значений модуля Юнга или скорости сдвиговой волны говорит о высокой жесткости ткани [12].

Эластометрия с применением форсированного импульса акустической радиации (ARFI) с помощью системы Acuson S2000™ (Siemens, Германия) – это метод эластографии, интегрированный в стандартные ультразвуковые аппараты. Для получения результата требуется 10 валидных измерений, из которых рассчитывается среднее значение скорости сдвиговой волны (см/сек). Эластометрия с применением ARFI имеет более низкую частоту ошибок измерений, чем транзиентная эластография [11, 12].

В мировой и отечественной практике существуют современные аппаратные ультразвуковые системы, которые, помимо традиционного сканирования в В-режиме, обладают функцией эластометрии и двухмерной сдвиговой эластографии для определения степени фиброза печени, оценки коэффициента затухания для количественного анализа степени выраженности стеатоза [12, 13]. Измерение степени выраженности стеатоза проводится в соответствии с морфологической шкалой и выражается в дБ/см.

Значение до 2,2 дБ/см – стеатоз отсутствует;

1-я степень – от 2,2 до 2,32 дБ/см;

2-я степень – от 2,33 до 2,9 дБ/см;

3-я степень – более 2,91 дБ/см [13].

Таким образом, применение неинвазивных методик оценки эластичности паренхимы печени в сочетании со сканированием в В-режиме и доплерографией становится частью стандартного обследования пациентов с НАЖБП, так как инвазивные диагностические методики при помощи биопсии не всегда применимы. Возросшая потребность в скрининге и мониторинговании пациентов с болезнями печени актуализирует вопросы разработки и внедрения новых информативных и доступных методов неинвазивной диагностики стеатоза и фиброза печени. В настоящее время идет активное

изучение сразу нескольких методик визуализации печени: магнитно-резонансной и транзитной эластографии, УЗИ с контрастным усилением и др. Это расширяет возможности своевременной прижизненной диагностики болезней печени с определением показателей клинического прогноза. Указанные методики могут занять полноправное место в ряду многочисленных диагностических мероприятий.

#### Список литературы

1. Звенигородская Л.А. Неалкогольная жировая болезнь печени: эволюция представлений, патогенетические акценты, подходы к терапии // Трудный пациент. 2015. № 10–11. Т. 13. С. 37–44.
2. Ивашкин В.Т., Драпкина О.М., Маев И.В. Распространенность неалкогольной жировой болезни печени у пациентов амбулаторно-поликлинической практики в Российской Федерации: результаты исследования Direg 2 // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии и колопроктологии. 2015. Т. XXV. № 6. С. 31–41.
3. Бакулин И.Г., Сандлер Ю.Г., Винницкая Е.В., Кейян В.А., Родионова С.В., Ротин Д.Л. Сахарный диабет и неалкогольная жировая болезнь печени: грани сопряженности // Терапевтический архив. 2017. № 2 (89). С. 59–65.
4. Бакулин И.Г., Сандлер Ю.Г., Винницкая Е.В., Кейян В.А., Драпун С.В. Оценка стеатоза печени с помощью неинвазивного метода: миф или реальность? // Доктор Ру. Гастроэнтерология. 2015. № 12 (113). С. 57–64.
5. Драпкина О.М., Деева Т.А., Волкова Н.П., Ивашкин В.Т. Современные подходы к диагностике и лечению неалкогольной жировой болезни печени // Терапевтический архив. 2014. № 86 (10). С. 116–123.
6. Венидиктова Д.Ю. Ультразвуковой метод количественной оценки стеатоза печени у пациентов с избыточной массой тела и ожирением // Смоленский медицинский альманах. 2017. № 1. С. 55–59.
7. Митьков В.В. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. М.: Видар, 1996. Т. 1–2. 335 с.
8. Митьков В.В., Митьков М.Д. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2015. № 2. С. 94–108.
9. Бакулин И.Г., Сандлер Ю.Г., Кейян В.А., Ротин Д.Л. Новый неинвазивный метод оценки стеатоза при хронических заболеваниях печени // Терапевтический архив. 2016. № 88 (2). С. 49–57.
10. Бастракова А.Е., Галеева З.М., Тухбатуллин М.Г. Возможности комплексной эхографии в ранней диагностике стеатоза печени // Практическая медицина. 2016. № 2 (94). Т. 2. С. 48–50.
11. Морозова Т.Г., Борсуков А.В. Применение комплексной эластографии для уточнения стадии фиброзного процесса в печени // Вестник новых медицинских технологий. 2015. № 3. DOI: 10.12737/12708.
12. Хомерики С.Г., Якимчук Г.Н., Голованова Е.В. Клиническое значение прижизненного морфологического исследования печени // Терапевтический архив. 2011. № 4. С. 30–36.
13. Barr R.G., Memo R., Schaub C.R. Shear Wave ultrasound elastography of the prostate: initial results. Ultrasound Q. 2012. Vol. 28. № 1. P. 13–20.

## ОБЗОРЫ

УДК 616-006.66:616-092.6:616-71

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКРИНИНГА  
КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА****<sup>1,2</sup>Джуманов А.И., <sup>1</sup>Кайдарова Д.Р., <sup>2</sup>Ошибаева А.Е.,  
<sup>1</sup>Жылкайдарова А.Ж., <sup>3</sup>Кузиков М.А.**<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский институт онкологии и радиологии, Алматы;<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы;<sup>3</sup>Казахстанско-Российский медицинский университет, Алматы, e-mail: jumanov82@gmail.com

В данной обзорной статье представлены современные данные о состоянии скрининга колоректального рака (КРР) в мире с учетом экономической эффективности проводимых мероприятий. Показано, что подсчет затрат и расходов, связанных с проведением скрининга КРР, позволяет оптимизировать и совершенствовать онкологическую службу. В 2018 г. во всем мире было зарегистрировано 1,8 млн случаев КРР. Рак толстого кишечника входит в число наиболее распространенных видов рака практически во всех странах, но более часто встречается в странах с высоким уровнем дохода и развития экономики. В этих же странах хорошо развита программа скрининга. Проведение скрининга является высоко затратной процедурой, с длительными перспективами, которое направлено на раннюю диагностику и своевременное лечение. Важным направлением скрининга является также проведение профилактики КРР путем выявления и лечения предопухолевых заболеваний толстой и прямой кишки (аденом и гиперплазий). При скрининге КРР используются фекальный иммунохимический тест и колоноскопия. Фекальный иммунохимический тест/колоноскопия в возрасте 55–65 лет стоит € 12 200 за годы жизни в Европе или 25 000 долларов в США с поправкой на качество жизни. К сожалению, в странах с неразвитой экономикой и низким доходом населения скрининговые мероприятия не проводятся или только начинают внедряться. Тем не менее проведение скрининга на КРР, даже в условиях несовершенного соблюдения всех принципов, при всех ее затратах значительно снижает смертность от КРР, повышает общую выживаемость и продолжительность жизни больных.

**Ключевые слова:** колоректальный рак, скрининг, стоимость, экономическая эффективность**THE COST-EFFECTIVENESS OF SCREENING FOR COLORECTAL CANCER****<sup>1,2</sup>Dzhumanov A.I., <sup>1</sup>Kaydarova D.R., <sup>2</sup>Oshibaeva A.E.,  
<sup>1</sup>Zhylkaydarova A.Zh., <sup>3</sup>Kuzikeev M.A.**<sup>1</sup>Kazakh Research Institute of Oncology and Radiology, Almaty;<sup>2</sup>Kazakh Al-Farabi National University, Almaty;<sup>3</sup>Kazakh-Russian Medical University, Almaty, e-mail: jumanov82@gmail.com

This review article presents current data on the state of colorectal cancer (CRC) screening in the world, taking into account the cost-effectiveness of the measures taken. It is shown that calculating the costs and expenses associated with the screening of CRR allows optimizing and improving the cancer service. In 2018, there were 1.8 million cases of CRC worldwide. Colon cancer is among the most common cancers in almost all countries, but is more common in high-income and advanced economies. These countries also have a well-developed screening program. Screening is a high-cost procedure with long-term prospects, which is aimed at early diagnosis and timely treatment. An important area of screening is also the prevention of CRC by detecting and treating precancerous diseases of the colon and rectum (adenomas and hyperplasias). Fecal immunochemical testing and colonoscopy are used for CRC screening. A fecal immunochemical test/colonoscopy at the age of 55, 65 costs € 12,200 for years in Europe or \$ 25,000 in the US of life adjusted for quality of life. Unfortunately, in countries with underdeveloped economies and low incomes, screening measures are not being implemented or are just beginning to be implemented. However, screening for CRC, even in conditions of imperfect compliance with all the principles, at all its costs significantly reduces mortality from CRC, increases the overall survival and life expectancy of patients.

**Keywords:** colorectal cancer, screening, cost, economic efficiency

Колоректальный рак (КРР) является актуальной проблемой в онкологии. Во многих странах мира КРР входит в пятерку наиболее распространенных видов рака. Ежегодно в мире регистрируют около 1,8 млн больных КРР с первично установленным диагнозом [1]. В экономически развитых странах мира (США, Канада, Австралия, Западная Европа) проводятся скрининговые мероприятия по наиболее распространенным опухолям, в том числе

по КРР; из стран Центральной Азии впервые скрининговая программа по ранней диагностике предопухолевых и опухолевых заболеваний толстой кишки была внедрена в Республике Казахстан. Проведение фармакоэкономической экспертизы востребовано для составления списков лекарственных средств, оценки различных медицинских программ, клинических протоколов / медико-экономических тарифов [2, 3]. В настоящее время используются следующие

методы фармакоэкономического анализа: анализ «минимизации затрат», анализ «затраты (стоимость) – эффективность», анализ «влияния на бюджет», анализ «затраты – утилитарность», анализ «затраты – прибыль», анализ «стоимость болезни», моделирование. Информация, полученная посредством анализа влияния на бюджет, необходима лицам, контролирующим и планирующим бюджет в сфере здравоохранения, таким как организаторы национальных и региональных программ здравоохранения, управляющие страховых компаний, руководители организаций здравоохранения и работодатели, выплачивающие пособия по болезни своим сотрудникам [4–6]. Рак толстого кишечника может служить источником выделения крови и других компонентов опухолевой ткани. Наиболее часто применяющимся методом диагностики КРР является определение скрытой крови в каловых массах. Как показано в нескольких рандомизированных исследованиях, такое исследование снижает смертность от колоректального рака на 15–33% в общей популяции [7, 8]. Фекальный иммунохимический тест (ФИТ) является диагностическим тестом по выявлению КРР. Текущие затраты на ФИТ составляют \$ 10–50. Доказана удовлетворительная чувствительность и специфичность ФИТ с низкими затратами.

Фекальный иммунохимический тест/колоноскопия в возрасте 55–65 лет стоит € 12 200 за годы жизни с поправкой на качество жизни (QALY – quality-adjusted life years) [9]. Двукратная сдача фекального иммунохимического теста является более экономически эффективной, чем однократная сдача ФИТ в массовом скрининге КРР. Двойной фекальный иммунохимический тест следует рекомендовать лицам, которые впервые участвуют в массовом скрининге на раннее выявление КРР [10].

Цель исследования – изучить экономическую эффективность скрининга колоректального рака по данным литературы.

#### Материалы и методы исследования

Проведен систематический обзор литературы в базе данных Pubmed, Medline, Cochrane library и др., где ключевыми словами поиска явились колоректальный рак, скрининг, стоимость, затраты, количество лет жизни с поправкой на качество. Поиск охватывал текущие исследования российских и зарубежных авторов за последние 20 лет.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Guo-Chang Zhong и др. (2019 г.) в метаанализе оценили экономическую эффек-

тивность фекального иммунохимического теста (ФИТ) в сравнении с колоноскопией при скрининге КРР. Была сравнена их эффективность и рентабельность в популяции среднего риска. Авторами был проведен поиск в PubMed, Embase и базе данных экономической оценки национальных служб здравоохранения. Отношение риска (ОР) использовалось для оценки различий в частоте выявления колоректальной неоплазии между группами ФИТ и колоноскопии. Для объединения ОР использовалась модель случайных эффектов. Для оценки экономической эффективности ФИТ по сравнению с колоноскопией были рассчитаны коэффициенты дополнительной экономической эффективности (КДЭФ). Были включены шесть рандомизированных контролируемых испытаний и семнадцать исследований экономической эффективности. Уровень участия в группе ФИТ был выше, чем в группе колоноскопии (41,6% против 21,9%). В анализе намерения лечить ФИТ имел уровень выявления КРР, сравнимый с колоноскопией (ОР = 0,73; 95% ДИ 0,37–1,42), и более низкие показатели выявления любой аденомы и развитой аденомы, чем при однократной колоноскопии. Большинство включенных в обзор исследований экономической эффективности показали, что годовой (13 исследований из 15) или двухгодичный (5 из 6) ФИТ был экономичным и очень рентабельным ( $\leq 25\,000$  долларов США / год жизни с поправкой на качество) по сравнению с колоноскопией, проводимой каждые 10 лет [11].

В другом исследовании T. Dinh и др. (2013 г.) в Северной Каролине (США) провели анализ экономической эффективности скрининга КРР с использованием модели Архимеда. Модель Архимеда – это крупномасштабное моделирование физиологии человека, болезней, вмешательств и систем здравоохранения. Подмодель КРР в модели Архимеда была получена из общедоступных баз данных, из опубликованных эпидемиологических исследований и клинических испытаний. Гибридная стратегия скрининга привела к значительному сокращению заболеваемости и смертности от КРР, увеличению QALY и снижению затрат, сравнимых с таковыми при использовании лучших стратегий одиночного тестирования. Ежегодный скрининг ФИТ пациентов в возрасте 50–65 лет, а затем однократная колоноскопия снизили частоту КРР на 72% и увеличили до 110 QALY на каждые 1000 человек в течение 30 лет по сравнению с теми, у кого не было скрининга. По сравнению с ежегодным скринингом ФИТ, ФИТ + колоноскопия уве-

личили на 1400 QALY / 100 000 человек при дополнительных затратах в размере 9 700 долларов (только ФИТ на 55% меньше). При интервале в 10 лет колоноскопия увеличивала на 500 QALY / 100 000 (затраты на 35 100 \$), но потребовала на 37% больше колоноскопий. Экономическая эффективность гибридных стратегий скрининга колоноскопией была более чувствительной, чем ежегодная ФИТ. Авторы сделали выводы, что стратегия ежегодного или раз в два года ФИТ, начиная с 50-летнего возраста пациента, с однократной колоноскопией в 66-летнем возрасте, дает клинические и экономические результаты, аналогичные результатам скрининга КРР с использованием одномодалных стратегий, что положительно сказывается на ресурсах [12].

Программы скрининга на КРР оказались экономически эффективными во многих странах с высоким уровнем доходов [13]. Однако такие исследования в странах с низким и средним уровнем доходов не проводились, за исключением Таиланда. Поэтому Р. Phisalprara и др. (2019 г.) оценили экономическую пользу от ФИТ и колоноскопии с использованием модели Маркова. Для оценки влияния неопределенности параметров был проведен анализ чувствительности и влияние на бюджет. При пороговом уровне готовности общества платить в Таиланде, составляющем 4 706 долларов США, скрининговая колоноскопия каждые 10 лет и ежегодный ФИТ, начиная с 50-летнего возраста, были рентабельными, по сравнению с отсутствием скрининга. Колоноскопия каждые 10 лет и ежегодный ФИТ могут предотвратить 17,9% и 5,7% рака на ранних стадиях и 27,8% и 9,2% на поздних стадиях. Скрининг с колоноскопией оказался рентабельным: прирост экономической эффективности составил 646,53 долл. США, по сравнению с ФИТ. Вероятность экономической эффективности колоноскопии и ФИТ составила 75% и 25%, соответственно. Анализ влияния на бюджет показал, что обследование с помощью колоноскопии требует в 8 раз большего бюджета, чем ФИТ. Таким образом, колоноскопия предлагает лучшее соотношение цены и качества при обследовании КРР в Таиланде. Ежегодный ФИТ потенциально возможен, поскольку требует меньше ресурсов. Эти результаты могут быть использованы как часть фактических данных для обоснования принятия политических решений. Скрининг с колоноскопией каждые 10 лет является рентабельным по сравнению с ежегодным ФИТ. Но скрининг с ежегодным ФИТ более целесообразен с точки зрения человеческих ресурсов и бюджетной нагрузки [14, 15].

М.Е. Greuter и др. (2017 г.) считают, что популяционный скрининг для предотвращения смерти от КРР является эффективным, но эффективность постполипектомического наблюдения неясна. Голландская группа скрининга исследовала бессимптомных людей в возрасте от 55 до 75 лет без предварительного диагноза КРР. Проводился ФИТ без колоноскопии. Скрининг ФИТ без наблюдения снизил смертность от КРР на 50,4% по сравнению с отсутствием скрининга или наблюдения. Добавление эпиднадзора к скринингу ФИТ снизило смертность еще на 1,7–52,1%, но увеличило потребность в пожизненной колоноскопии на 62% (с 335 до 543 колоноскопий на 1000 человек) за дополнительную плату в 68 000 евро. Увеличение интервалов наблюдения до 5 лет снизило смертность от КРР на 51,8% и увеличило потребность в колоноскопии на 42,7% по сравнению со скринингом ФИТ без наблюдения. В ходе инкрементального анализа коэффициенты дополнительной экономической эффективности для скрининга и эпиднадзора превысили порог готовности голландцев платить 36 602 евро за год жизни. Авторы выявили, что, когда затраты на колоноскопию были уменьшены вдвое или частота колоректальных поражений была удвоена, скрининг плюс наблюдение стали рентабельными по сравнению со скринингом без наблюдения. Увеличение интервалов наблюдения до 5 лет снизило бы потребность в колоноскопии без существенной потери эффективности [16].

Некоторые исследователи считают, что коморбидность может влиять на скрининг КРР. Так, Т.А. Dinh и др. оценили влияние диагноза сахарного диабета, широко распространенного сопутствующего заболевания у взрослых в США в возрасте 50 лет и старше, на здоровье и экономические результаты скрининга КРР. По дизайну это был анализ экономической эффективности с использованием интегрированной среды моделирования. Источники данных были получены на основе фундаментальных и эпидемиологических исследований, клинических испытаний, регистров рака и базы данных колоноскопии. Целевой группой было 50-летнее население США. Колоноскопия проводилась с интервалом в десять лет, начиная с 50 лет, и прекращалась после 50, 60, 70, 80 лет или смерти. Диагностика диабета значительно влияет на рентабельность скрининга КРР. При той же стратегии скрининга КРР человек без диабета в возрасте 50 лет в среднем набирал на 0,07–0,13 года жизни больше, чем человек, у которого был

диагностирован диабет в возрасте 50 лет или моложе. Для популяции из 1000 пациентов с исходным диагнозом диабета увеличение возраста с 70 до 80 лет увеличивало количество лет жизни с поправкой на качество (QALY) на 0,3, с дополнительным соотношением затрат и эффективности в размере 206 671 долл. США / QALY. Соответствующие цифры на 1000 пациентов без диабета составляют 2,3 QALY или 46 957 долл. США за QALY. Авторы заключили, что преимущества скрининга КРР существенно различаются для пациентов с диабетом и без него. Скрининг на КРР у пациентов с диагнозом диабет в возрасте 50 лет и младше не является рентабельным после 70 лет. Рекомендации по скринингу должны быть индивидуализованы в зависимости от наличия сопутствующих заболеваний [17].

Namideh Javadinasab и др. (2017 г.) подсчитали, что КРР является четвертым по распространенности раком среди мужчин и вторым среди женщин в Иране. Известно, что родственники первой степени пациентов с КРР подвержены более высокому риску. Целью этого исследования было определение наиболее рентабельной стратегии скрининга КРР у иранских лиц с высоким риском. Была разработана марковская модель для оценки экономической эффективности шести стратегий колоноскопического скрининга для лиц с повышенным риском КРР из-за положительного анамнеза заболевания. Стратегии включали колоноскопию каждые пять или десять лет, начиная с 40–50 лет, и колоноскопию один раз в 50 или 55 лет. Модель Маркова содержала 11 взаимоисключающих состояний здоровья, где временным горизонтом модели было время жизни, а длительность цикла – 1 год. Результаты включали увеличение количества лет жизни, QALY и затраты. Для моделирования данных использовалось программное обеспечение TreeAge Pro. Все шесть стратегий скрининга увеличивали продолжительность жизни и QALY и были дороже, чем при отсутствии скрининга. Дополнительные затраты на QALY, полученные для скрининга КРР, варьировались от 489 долл. за одно обследование с колоноскопией за всю жизнь в 55 лет до 3 135 долларов за обследование с колоноскопией каждые пять лет, начиная с 40 лет. Когда стратегии сравнивались со следующей лучшей стратегией, доминирующие стратегии были удалены из анализа, одно обследование с колоноскопией за всю жизнь в возрасте 55 лет; или каждые десять лет, начиная с 40 лет; или каждые пять лет, начиная с 40-летне-

го возраста, оставались с коэффициентами дополнительной экономической эффективности 489, 2 505 и 26 080 долл. на QALY соответственно. Авторы резюмировали, что скрининг КРР у лиц из группы высокого риска является экономически эффективным в Иране. Колоноскопический скрининг каждые 10 лет, начиная с 40 лет, был наиболее рентабельной стратегией [18].

Недавняя группа экспертов рекомендовала, чтобы люди со средним риском КРР начинали скрининг в возрасте 50 лет, используя одну из нескольких стратегий. Однако многие аспекты различных стратегий скрининга КРР остаются неопределенными. Поэтому A.L. Frazier и др. в 2000 г. поставили цель: оценить последствия, затраты и экономическую эффективность скрининга КРР у лиц со средним риском. Дизайн исследования составлял анализ экономической эффективности с социальной точки зрения с использованием модели Маркова. Субъектом исследования явились гипотетические субъекты, представляющие 50-летнее население США со средним риском КРР. В одном анализе базового случая предполагалось, что комплаентность составляет 60% при первоначальном скрининге и 80% при последующей или контрольной колоноскопии. Наиболее эффективной стратегией для белых мужчин было ежегодное регидратированное исследование кала на скрытую кровь (FOBТ) плюс ректороманоскопия (с последующей колоноскопией, если был обнаружен полип с низким или высоким риском) каждые 5 лет в возрасте от 50 до 85 лет, что привело к 60%-ному снижению заболеваемости раком и 80%-ному снижению смертности от КРР по сравнению с отсутствием скрининга, а также увеличение коэффициента экономической эффективности в размере 92 900 долларов США на год жизни, по сравнению с ежегодной нерегидратированной FOBТ плюс ректороманоскопия каждые 5 лет. В анализе базового случая, в котором предполагается, что соблюдение требований к скринингу и последующему наблюдению составляет 100%, скрининг чаще, чем каждые 10 лет, был чрезмерно дорогим. Ежегодная регидратированная FOBТ плюс ректороманоскопия каждые 5 лет давала дополнительный коэффициент эффективности в размере 489 900 долларов США на год жизни, по сравнению с той же стратегией каждые 10 лет. Другие стратегии, рекомендованные группой экспертов, были либо менее эффективными, либо стоили больше. Колоноскопия каждые 10 лет была менее эффективной, чем комбинация ежегодной FOBТ плюс ректороманоскопия

каждые 5 лет. Однако за одну колоноскопию в возрасте 55 лет достигается почти половина снижения смертности от КРР, достигаемого с помощью колоноскопии каждые 10 лет. Из-за увеличения продолжительности жизни среди белых женщин и увеличения смертности от рака среди чернокожих скрининг КРР оказался даже более рентабельным в этих группах, чем среди белых мужчин. Другие стратегии, рекомендованные группой экспертов, были либо менее эффективными, либо стоили больше на год проделанной жизни, чем альтернативы. Колоноскопия каждые 10 лет была менее эффективна, чем комбинация ежегодной FOBТ и ректороманоскопии каждые 5 лет. Однако за одну колоноскопию в возрасте 55 лет достигается почти половина снижения смертности от КРР, достигаемого с помощью колоноскопии каждые 10 лет. Из-за увеличения продолжительности жизни среди белых женщин и увеличения смертности от рака среди чернокожих скрининг КРР оказался даже более рентабельным в этих группах, чем среди белых мужчин. Другие стратегии, рекомендованные группой экспертов, были либо менее эффективными, либо стоили больше на год проделанной жизни, чем альтернативы. Колоноскопия каждые 10 лет была менее эффективна, чем комбинация ежегодной FOBТ и ректороманоскопии каждые 5 лет. Однако за одну колоноскопию в возрасте 55 лет достигается почти половина снижения смертности от КРР, достигаемого с помощью колоноскопии каждые 10 лет. Из-за увеличения продолжительности жизни среди белых женщин и увеличения смертности от рака среди чернокожих скрининг КРР оказался даже более рентабельным в этих группах, чем среди белых мужчин. Однократная колоноскопия в возрасте 55 лет обеспечивает почти половину снижения смертности от КРР, достигаемого с помощью колоноскопии каждые

10 лет. Из-за увеличения продолжительности жизни среди белых женщин и увеличения смертности от рака среди чернокожих скрининг КРР оказался даже более рентабельным в этих группах, чем среди белых мужчин. Однократная колоноскопия в возрасте 55 лет обеспечивает почти половину снижения смертности от CRC, достигаемого с помощью колоноскопии каждые 10 лет. Из-за увеличения продолжительности жизни среди белых женщин и увеличения смертности от рака среди чернокожих скрининг КРР оказался даже более рентабельным в этих группах, чем среди белых мужчин. Авторы сделали выводы: скрининг на КРР, даже в условиях несовершенного соблюдения, значительно снижает смертность от КРР при затратах, сопоставимых с другими процедурами скрининга рака. Однако степень соответствия существенно влияет на увеличивающиеся коэффициенты эффективности. В этой модели КРР 60% соблюдение расписания каждые 5 лет скрининга было примерно эквивалентно 100% соблюдению расписания каждые 10 лет. Математическое моделирование, используемое для составления клинических руководств, должно учитывать ожидаемые уровни соблюдения [19].

П.В. Нестеров и др. (2020 г.) на примере Ярославской области РФ показали, что стратегия отсутствия скрининга КРР имеет коэффициент затраты/эффективность равный 246712 руб/LYG (life year gained – за каждый добавленный год жизни), при величине добавленных лет жизни в 2,9 года. По их расчетам реализация программы скрининга КРР на основе анализа кала на скрытую кровь иммунохимическим методом с последующим выполнением колоноскопии в случае положительного результата потребует увеличения финансирования помощи пациентам с раком толстой кишки на 6,9% в год [20]. Основные показатели исследования представлены в таблице.

#### Проведенные исследования по скринингу колоректального рака

Статьи	Год публ.	Параметры	ФИТ	Колоноскопия	Исходы
Guo-Chang Zhong и др.	2020	Уровень участия Уровень выявления КРР Уровень выявления аденомы Кратность	41,6% Одинаковый  Низкий Один раз в год	21,9% Одинаковый  Высокий Один раз в 10 лет	≤ 25 000 долларов США / на год жизни с поправкой на качество
Dinh T. и др.	2013	Кратность  Затраты	Один раз в год с 50 до 65 лет 9 700 долларов США	Один раз в 10–15 лет 35 100 долларов США	Снижение частоты КРР на 72%

Окончание таблицы					
Статьи	Год публ.	Параметры	ФИТ	Колоноскопия	Исходы
Phisalprapa P. и др.	2019	Кратность	Ежегодно	Каждые 10 лет	Прирост экономической эффективности составил 646,53 долл. США  Колоноскопия требует в 8 раз большего бюджета, чем ФИТ
		Предотвращение рака на ранних стадиях	5,7%	17,9%	
		Предотвращение рака на поздних стадиях	9,2%	27,8%	
		Вероятность экономической эффективности	25%	75%	
Greuter M.J.E. и др.	2017	Кратность Снижение смертности	Ежегодно На 50,4%	Каждые 5 лет на 51,8%	Потребность в колоноскопии увеличилась на 42,7%
Hamideh Javadinasab и др.	2017	Кратность Целевая группа	Ежегодно Высокий риск	Каждые 5 лет с 40 лет Высокий риск	489 долларов
Frazier A.L. и др. в 2000	2000	Кратность	Ежегодно регидратированное исследование кала на скрытую кровь (FOBТ)	Ректороманоскопия + колоноскопия каждые 5 лет	Снижение заболеваемости на 60% Снижение смертности на 80% Увеличение коэффициента экономической эффективности в размере 92 900 долл. на год жизни
Нестеров П.В. и др.	2012	Кратность Потребность в увеличении финансирования	Ежегодно —	Каждые 10 лет на 6,9% в год для больных КРР	Стратегия отсутствия скрининга КРР имеет коэффициент затраты/эффективность равный 246 712 руб/ LYG (life year gained – за каждый добавленный год жизни), при величине добавленных лет жизни в 2,9 года

### Заключение

Колоректальный рак является актуальной проблемой, что обусловлено высокими уровнями заболеваемости и смертности. Во всем мире проблема колоректального рака инициирует внедрение скрининговых мероприятий, направленных на раннюю диагностику и своевременное лечение предопухолевых и опухолевых состояний. Реализация данной программы требует определенных финансовых вложений и затрат. Основными компонентами скрининга колоректального рака являются проведение иммунохимического теста кала и колоноскопия. Несмотря на финансовые расходы практически всеми констатируется факт экономической эффективности скрининга. При этом за счет изменения структуры заболеваемости и увеличения доли ранних форм при реализации программы скрининга будет достигнуто увеличение расчетной

средней продолжительности жизни пациентов, что согласуется с долгосрочными результатами. При долгосрочном моделировании показано, что внедрение программы скрининга позволит сократить заболеваемость КРР на 10–20% от исходного уровня и уменьшить расходы на диагностику и лечение рака.

### Список литературы

1. Kuipers E.J., Grady W.M., Lieberman D., Seufferlein T., Sung J.J., Boelens P.G. Colorectal cancer. *Nat Rev Dis Primers*. 2015. Vol. 1. P. 15065. DOI: 10.1038/nrdp.2015.65.
2. Budenholzer B., Welch H.G. Cost-effectiveness of colorectal cancer screening. *JAMA*. 2001. Vol. 24–31. No. 285 (4). P. 407.
3. Silva-Illanes N., Espinoza M. Critical Analysis of Markov Models Used for the Economic Evaluation of Colorectal Cancer Screening: A Systematic Review. *Value Health*. 2018. Vol. 21 (7). P. 858–873. DOI: 10.1016/j.jval.
4. Major D., Bryant H., Delaney M., Fekete S., Gentile L., Harrison M. Colorectal cancer screening in Canada: results from the first round of screening for five provincial programs. *Curr Oncol*. 2013. Vol. 20 (5). P. 252–257. DOI: 10.3747/co.

5. Williams J.G., Pullan R.D., Hill J., Horgan P.G., Salmo E., Buchanan G.N. Management of the malignant colorectal polyp: ACPGBI position statement. *Colorectal Dis.* 2013 Vol. 15 Suppl 2. P. 1–38. DOI: 10.1111/codi.12262.
6. Mc Namara D., Leen R., Seng-Lee C., Shearer N., Crotty P., Neary P. Sustained participation, colonoscopy uptake and adenoma detection rates over two rounds of the Tallaght – Trinity College colorectal cancer screening program with the faecal immunological test. *Eur J Gastroenterol Hepatol.* 2014. Vol. 26 (12). P. 1415–1421. DOI: 10.1097/MEG.0000000000000207.
7. Jensen C.D., Corley D.A., Quinn V.P., Doubeni C.A., Zauber A.G., Lee J.K. Fecal Immunochemical Test Program Performance Over 4 Rounds of Annual Screening: A Retrospective Cohort Study. *Ann Intern Med.* 2016. Vol. 5. No. 164 (7). P. 456–463. DOI: 10.7326/M15-0983.
8. Katičić M., Antoljak N., Kujundžić M., Stamenić V., Skoko Poljak D., Kramarić D. Results of National Colorectal Cancer Screening Program in Croatia (2007–2011). *World J Gastroenterol.* 2012. Vol. 28. no.18 (32). P. 4300–4307. DOI: 10.3748/wjg.v18.i32.4300.
9. Lansdorp-Vogelaar I., Knudsen A.B., Brenner H. Cost-effectiveness of colorectal cancer screening. *Epidemiol Rev.* 2011. Vol. 33. P. 88–100. DOI: 10.1093/epirev/mxr004.
10. Chiu H.-M., Chen S.L.-S., Yen A.M.-F., Chiu S.Y.-H., Fann J.C.-Y., Lee Y.-C. Effectiveness of fecal immunochemical testing in reducing colorectal cancer mortality from the One Million Taiwanese Screening Program. *Cancer.* 2015. Vol. 15. No. 121 (18). P. 3221–3229. DOI: 10.1002/cncr.29462.
11. Guo-Chao Zhong, Wei-Ping Sun, Lun Wan, Jie-Jun Hu, Fa-Bao Hao. Efficacy and cost-effectiveness of fecal immunochemical test versus colonoscopy in colorectal cancer screening: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc.* 2020. Vol. 91 (3). P. 684–697. E 15. DOI: 10.1016/j.gie.2019.11.035.
12. Dinh T., Ladabaum U., Alperin P., Caldwell C., Smith R., Levin T.R. Clin Gastroenterol Hepatol. Health benefits and cost-effectiveness of a hybrid screening strategy for colorectal cancer. 2013. Vol. 11 (9). P. 1158–66. DOI: 10.1016/j.cgh.2013.03.013.
13. Knapp G.C., Alatise O.I., Olasehinde O.O., Adeyeye A., Ayandipo O.O., Weiser M.R., Kingham T.P. Is Colorectal Cancer Screening Appropriate in Nigeria? *J Glob Oncol.* 2019. Vol. 5. P. 1–10. DOI: 10.1200/JGO.19.00035.
14. Phisalprapa P., Supakankunti S., Chaiyakunapruk N. Cost-effectiveness and budget impact analyses of colorectal cancer screenings in a low- and middle-income country: example from Thailand. *J Med Econ.* 2019. Vol. 22 (12). P. 1351–1361. DOI: 10.1080/13696998.
15. Khuhaprema T., Sangrajrang S., Lalitwongsa S., Chokvanitphong V., Raunroadroong T., Ratanachu-Ek T. Organised colorectal cancer screening in Lampang Province, Thailand: preliminary results from a pilot implementation programme. *BMJ.* 2014. Vol. 15. Vol. 4 (1). P. 003671. DOI: 10.1136/bmjopen-2013-003671.
16. Greuter M.J.E., de Klerk C.M., Meijer G.A., Dekker E., Coupé V.M.H. Screening for Colorectal Cancer With Fecal Immunochemical Testing With and Without Postpolypectomy Surveillance Colonoscopy: A Cost-Effectiveness Analysis. *Ann Intern Med.* 2017. Vol. 17. no. 167 (8). P. 544–554. DOI: 10.7326/M16-2891.
17. Dinh T.A., Alperin P., Walter L.C., Smith R. Impact of comorbidity on colorectal cancer screening cost-effectiveness study in diabetic populations. *J Gen Intern Med.* 2012. Vol. 27 (6). P. 730–8. DOI: 10.1007/s11606-011-1972-6.
18. Hamideh Javadinasab, Rajabali Daroudi, Hamideh Salimzadeh, Alireza Delavari, Payam Vezvaie, Reza Malekzadeh. Cost-effectiveness of Screening Colonoscopy in Iranian High Risk Population *Arch Iran Med.* 2017. Vol. 20 (9). P. 564–571.
19. Frazier A.L., Colditz G.A., Fuchs C.S., Kuntz K.M. Cost-effectiveness of screening for colorectal cancer in the general population. *JAMA.* 2000. Vol. 18. No. 284 (15). P. 1954–61. DOI: 10.1001/jama.284.15.1954.
20. Нестеров П.В., Ухарский А.В., Кислов Н.В. Региональная клинико-экономическая модель скрининга колоректального рака // Исследования и практика в медицине. 2020. Т. 7. № 3. С. 146–159. DOI: 10.17709/2409-2231-2020-7-3-15.

## СТАТЬИ

УДК 004.855

**МОДИФИКАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ TINY-YOLO ДЛЯ ЗАДАЧИ  
ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ****Денисенко А.А.***ЧП Денисенко, Ирпень, e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com*

Обнаружение объектов остается одним из наиболее активных направлений исследования в области машинного обучения и компьютерного зрения. Значительные успехи в этой области были получены благодаря внедрению глубоких сверточных нейронных сетей. Однако, несмотря на достигнутые результаты, одной из самых больших проблем при широкомасштабном развертывании систем, в основе которых лежат такие сети, на мобильных и периферийных устройствах являются все более растущие требования к вычислительным ресурсам и памяти. Таким образом, в последние годы наблюдается повсеместный интерес специалистов к исследованию и разработке эффективной архитектуры нейронной сети, предназначенной для повседневного использования. В рамках данной работы будет представлена модификация архитектуры Tiny-YOLO, легковесной версии YOLO – многослойной сверточной нейронной сети для решения задачи обнаружения объектов. Предлагаемая архитектура позволяет спроектировать систему, в основе которой лежит нейронная сеть размером около 4 Мб (примерно на 15% меньше оригинальной архитектуры Tiny-YOLO) и требует 4,23 млрд операций для получения результата (примерно на 30% меньше оригинальной архитектуры), при этом для используемого на этапе обучения и тестирования датасета VOC 2007 точность обнаружения на неизученных данных все еще достигает 69%, как и в оригинальной архитектуре YOLO (примерно на 10% выше, чем в Tiny-YOLO). Результаты проведенных экспериментов по скорости и точности обнаружения демонстрируют эффективность разработанной модификации.

**Ключевые слова:** обнаружение объектов, нейронные сети, сверточные нейронные сети, глубокое обучение, компьютерное зрение

**MODIFICATION OF TINY-YOLO ARCHITECTURE FOR OBJECT  
DETECTION IN REAL TIME****Denysenko A.A.***PE Denysenko, Irpin, e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com*

Object detection remains one of the most active research areas in machine learning and computer vision. Significant advances in this area have been achieved through the implementation of deep convolutional neural networks. However, despite the results achieved, one of the biggest challenges in large-scale deployments of systems that rely on such networks on mobile and peripheral devices is the ever-increasing requirements for computing resources and memory. Thus, in recent years, there has been a widespread interest of specialists in the research and development of an effective neural network architecture intended for everyday use. As part of this work, a modification of the Tiny-YOLO architecture, a lightweight version of YOLO, a multilayer convolutional neural network for solving the problem of object detection, will be presented. The proposed architecture allows you to design a system based on a neural network of about 4 MB in size (about 15% less than the original Tiny-YOLO architecture) and requires 4.23 billion operations to get the result (about 30% less than the original architecture), with at the same time, for the VOC 2007 dataset used at the stage of training and testing, the detection accuracy on unstudied data still reaches 70%, as in the original YOLO architecture (about 10% higher than in Tiny-YOLO). The results of the experiments on the speed and accuracy of detection demonstrate the effectiveness of the developed modification.

**Keywords:** object detection, neural networks, convolutional neural networks, deep learning, computer vision

Во всех современных системах обнаружения на основе компьютерного зрения необходимо не только локализовать местоположение объектов в пределах сцены, но и назначить ту или иную метку класса каждому из них. Самые крупные из недавних успехов в этой области связаны с последними достижениями в области глубокого обучения, в частности с использованием многослойных сверточных нейронных сетей.

До тех пор, пока основной фокус был сосредоточен на улучшении точности, появлялись все более сложные архитектуры, такие как SSD, R-CNN, Mask R-CNN, а также модификации этих сетей [1]. Несмотря

на то что системы, в основе которых лежали модели этих сетей, продемонстрировали высокую производительность и качество обнаружения, их было практически невозможно развернуть на портативных и мобильных устройствах из-за ограничений памяти и недостаточных вычислительных мощностей. По сути, даже более быстрые модификации, такие как Faster R-CNN, демонстрировали низкое быстродействие при обнаружении объектов на встроенных процессорах мобильных устройств [2]. Кроме того, такие ограничения помешали широкому распространению сетей для широкого круга приложений, таких как бес-

пилотные летательные аппараты, системы видеонаблюдения, системы автономного вождения, где также требуется локальная обработка. Таким образом, исследование и разработка высокоэффективных архитектур глубоких нейронных сетей для обнаружения объектов, которые больше подходят для периферийных и мобильных устройств, являются актуальной задачей.

Целью исследования является применение принципов проектирования системы обнаружения объектов на основе семейства архитектур YOLO для создания легкой сети с настраиваемой макро- и микро-архитектурой на уровне модулей, адаптированной для задачи обнаружения.

### Материалы и методы исследования

Методы глубокого обучения являются более совершенными моделями машинного обучения, обеспечивающими лучшую производительность при решении ряда задач. В то время как традиционные методы машинного обучения занимаются преимущественно ручным извлечением необходимых признаков из доступных входных данных, методы глубокого обучения иерархически извлекают эти признаки и обучаются без учителя или с частичным его участием. На рис. 1 проиллюстрирована структурная схема традиционной модели; схема модели глубокого обучения [3] представлена на рис. 2.

Глубокое обучение все еще далеко от того, чтобы быть зрелой и хорошо из-

ученной областью, но оно уже используется многими приложениями реального мира, такими как обнаружение и распознавание на основе видения, распознавание и синтезирование речи, энергосбережение, поиск лекарств, финансы и маркетинг. С одной стороны, глубокое обучение предлагает множество возможностей для исследований и эксплуатации, с другой – в глубоком обучении много нерешенных проблем. Это также дает потенциальную возможность первым вывести на рынок разработку, публикацию или некоторый новый продукт в этой области.

YOLO (You Only Look Once) – алгоритм обнаружения объектов в реальном времени. Лежащий в основе YOLO алгоритм принимает в качестве входа исходное изображение или кадр видеопотока один раз, а на выходе возвращает фрагменты этого изображения – каждый участок кадра имеет ограничительную рамку с вероятностью нахождения внутри нее того или иного объекта [4]. Первая версия системы YOLO достигла точности более 50% для решения задачи обнаружения объектов в реальном времени наборов данных VOC 2007 и VOC 2012, что сделало ее лучшим выбором для этой задачи – как показала практика, YOLO работает гораздо точнее и быстрее, чем любой из алгоритмов, основанных на принципе скользящего окна. Методика модели YOLO основывается только на незначительных изменениях в уже известных алгоритмах.



Рис. 1. Структурная схема традиционных методов машинного обучения



Рис. 2. Структурная схема модели глубокого обучения



ного вглубь сверточного слоя, который выполняет пространственные свертки с различными фильтрами на каждом из отдельных выходных каналов из слоя расширения, и, наконец, проекционного слоя со свертками  $1 \times 1$ , который конвертирует выходные каналы в выходной тензор с более низкой размерностью. Использование остаточной макроархитектуры PEP позволяет значительно снизить вычислительную сложность при сохранении остальных параметров модели.

Второе значимое наблюдение об архитектуре сети – это введение легковесного модуляционного полносвязного слоя, который состоит из двух полносвязных слоев, изучающих динамические нелинейные взаимозависимости между слоями и создающих веса модуляции для повторного пересчета весов. Использование таких слоев облегчает повторную калибровку динамических признаков на основе глобальной информации, чтобы уделить больше внимания информативным признакам и лучше использовать доступную пропускную способность сети [5]. Это, в свою очередь, позволяет добиться прочного баланса между сниженной архитектурной, вычислительной сложностью и выразительностью модели.

Третье наблюдение касается высокой неоднородности не только макроархитектур (разнообразное сочетание модулей PEP, модулей EP, полносвязных модуляционных слоев, а также отдельных сверточных слоев со свертками  $3 \times 3$  и  $1 \times 1$ ), но также с точки зрения микроархитектур отдельных модулей и слоев представления признаков, причем каждый модуль или слой сети имеет уникальную микроархитектуру. Преимущество высокой неоднородности микроархитектуры в этой модификации Tiny-YOLO заключается в том, что она позволяет индивидуально адаптировать каждый компонент архитектуры сети для достижения сильного баланса между архитектурной и вычислительной сложностью и выразительностью модели.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Чтобы изучить эффективность модифицированной сети Tiny-YOLO для обнаружения объектов в режиме реального времени, необходимо исследовать размер модели, точность обнаружения объектов и вычислительные затраты на наборах данных PASCAL VOC. Для сравнения две существующие и описанные ранее в литературе модификации Tiny-YOLO использовались в качестве базовых. Учитыва-

лся тот факт, что они являются одними из самых популярных легковесных глубоких нейронных сетей для обнаружения объектов, небольшие размеры их моделей и низкую вычислительную сложность. Наборы данных VOC2007 / 2012 состоят из полученных в естественной среде изображений с 20 различными типами (классами) объектов. Глубокие нейронные сети были обучены с использованием обучающих наборов данных VOC2007 / 2012, а средняя точность на тестовой выборке (т.е. на не изученных ранее данных) была вычислена на тестовом наборе данных VOC2007 для оценки точности обнаружения объектов глубокими нейронными сетями, что является стандартной практикой в исследовательской литературе.

В таблице показаны размеры моделей и точность обнаружения объектов предлагаемой модификации сети Tiny-YOLO, а также ее ближайших конкурентов Tiny-YOLO 2 и Tiny-YOLO 3.

Сравнение точности обнаружения объектов для основанных на Tiny-YOLO архитектур сетей на тестовом наборе VOC 2007.

Размер входных кадров –  $416 \times 416$   
для всех протестированных сетей

Название модели	Размер, Мб	Точность на наборе VOC 2007, %	Число операций, млрд
Tiny-YOLO 2	60,5	57,1	6,87
Tiny-YOLO 3	33,4	58,4	5,52
Tiny YOLO mod.	4,0	69,1	4,57

#### Заключение

В ходе выполнения работы, кроме полноценного анализа предметной области, связанной с данными о компьютерном зрении, машинном и глубоком обучении, были исследованы предшествующие достижения в области задачи обнаружения объектов, в том числе по решению данной задачи другими методами, а также выполнен сравнительный анализ различных модификаций архитектуры Tiny-YOLO, предназначенной для решения задачи, в том числе представленной в работе архитектуры Tiny-YOLO mod.

Как следует из таблицы, описанная в данной работе модель Tiny-YOLO mod. демонстрирует лучшие результаты по всем параметрам.

Во-первых, можно заметить, что размер модели составил 4,0 МБ, что на 15% и 8% меньше, чем у Tiny-YOLO 2 и Tiny-YOLO 3 соответственно, что очень важно

для периферийных и мобильных устройств с учетом ограничений памяти.

Во-вторых, модифицированная модель Tiny-YOLO, несмотря на то, что она намного меньше по размеру модели в Мб, достигла результата в 69,1% точности обнаружения объекта на тестовом наборе данных VOC 2007, что приблизительно на 12% и на 10,7% больше, чем у Tiny-YOLO 2 и Tiny-YOLO 3 соответственно.

В-третьих, модификация Tiny-YOLO требует всего 4,57 млрд операций для выполнения операции обнаружения и вывода результата на кадр, что на 34% меньше, чем у Tiny-YOLO 2, и приблизительно на 17% меньше, чем у Tiny-YOLO 3.

#### Список литературы

1. Lin T.-Y., Dollar P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. Feature pyramid networks for object detection. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Honolulu, HI, USA, 21-26 July 2017). IEEE. 2017. P. 936–944.
2. Redmon J., Farhadi A. Yolov3: An incremental improvement. ArXiv. 2018. [Electronic resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1804.02767.pdf> (date of access: 10.04.2021).
3. Patterson J. Deep learning: a practitioner's approach. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2017. 532 p.
4. Shafiee M.J., Chywl B., Li F., Wong A. Fast YOLO: A fast you only look once system for real-time embedded object detection in video. ArXiv. 2017. [Electronic resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1709.05943.pdf> (date of access: 10.04.2021).
5. Girshick R., Donahue J., Darrell T., Malik J. Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Columbus, OH, USA, 23-28 June 2014). IEEE, 2014. P. 580–587.

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЕГГОВСКИХ РЕШЕТОК**

**Кусаинова К.Т., Кабибулатов А.А., Хамзина Б.Е.,  
Жетписбаева А.Т., Иманмадилов Д.К.**

*Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан,  
e-mail: kayny7@mail.ru, kabibulatov@gmail.com, be\_khamzina@mail.ru,  
aigulji@mail.ru, sonyamarmeladova148@gmail.com*

В работе представлен краткий обзор и анализ исследований, связанных с волоконными брегговскими решётками. Авторами описано экспериментальное исследование, проведенное ими с целью выявления зависимости длины волны брегговской решётки от температуры. Эксперимент проводился с использованием двух оптических светочувствительных волокон с нанесёнными на них методом фазовой маски наклонными брегговскими решётками с периодом решёток 540 нм и длиной 10 мм. Экспериментальные данные показали, что наклонные брегговские решётки чувствительны к изменению температуры, что говорит о потенциальной возможности использования их в оптоволоконных датчиках температуры для возможного улучшения эффективности этих датчиков. По полученным экспериментальным данным представлен график зависимости длины волны брегговской решётки от температуры и проведена аппроксимация. В ходе исследования выявлена явная линейная зависимость длины волны наклонной брегговской решётки от температуры окружающей среды. Предложено длину волны наклонной брегговской решётки использовать как индикатор изменения температуры окружающей среды. Авторами отмечено, что зависимость длины волны от температуры представляет большой интерес в контексте практического применения в производстве для мониторинга температуры, а также перспективы исследования.

**Ключевые слова:** оптоволокно, оптоволоконный датчик, метод фазовой маски, наклонная брегговская решётка, длина волны

**APPLICATION OF FIBER BRAGG GRATINGS**

**Kusainova K.T., Kabibulatov A.A., Khamzina B.E.,  
Zhetpisbaeva A.T., Imanmadirov D.K.**

*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, e-mail: kayny7@mail.ru,  
kabibulatov@gmail.com, be\_khamzina@mail.ru, aigulji@mail.ru, sonyamarmeladova148@gmail.com*

This article presents a brief overview and analysis of research related to fiber Bragg gratings. The authors describe an experimental study carried out by them in order to reveal the dependence of the wavelength of the Bragg grating on temperature. The experiment was carried out using two optical light-sensitive fibers with oblique Bragg gratings with a grating period of 540 nm and a length of 10 mm applied to them by the phase mask method. Experimental data have shown that tilted Bragg gratings are sensitive to temperature changes, which indicates the potential for their use in fiber-optic temperature sensors to possibly improve the efficiency of these sensors. Based on the obtained experimental data, a graph of the dependence of the wavelength of the Bragg grating on temperature is presented and an approximation is carried out. The study revealed a clear linear dependence of the wavelength of the tilted Bragg grating on the ambient temperature. It is proposed to use the wavelength of the tilted Bragg grating as an indicator of the change in the ambient temperature. The authors noted that the dependence of the wavelength on temperature is of great interest in the context of practical application in production for monitoring temperature, as well as research prospects.

**Keywords:** fiber optic, fiber optic sensor, phase mask method, tilted Bragg grating, wavelength

В настоящее время для измерения температуры часто используются волоконно-оптические датчики ввиду своих преимуществ перед конкурентными технологиями, таких как быстрая передача данных, точность измерений, возможность масштабирования и т.д. Датчики, изготовленные с использованием волоконных брегговских решёток, обладают преимуществами волоконно-оптических датчиков, при этом позволяя улучшить конкурентные преимущества перед другими технологиями. Использование брегговских решёток зачастую приводит к повышению эффективности/экономии ресурсов/улучшению точности измерений и т.д. В связи с этим наклон-

ные брегговские решётки также вызывают интерес в контексте их использования в различных направлениях для достижения тех же целей, что и при использовании брегговских решёток. Датчики с наклонной волоконной брегговской решёткой являются новейшим типом волоконных датчиков и приобретают все большее значение в области мониторинга состояния конструкций гражданской инфраструктуры [1] и в нефтегазовой промышленности [2].

Интерес к наклонным брегговским решёткам в настоящее время крайне высок. Это может быть подтверждено многочисленными исследованиями, которые проводятся по всему миру. К примеру, К.Р. Ма,

С. Wu и др. проводили эксперимент с наклонной брэгговской решеткой, которая была помещена в пластмассу, армированную углеродным волокном для получения данных о затвердевании вещества. Основываясь на полученном результате, они пришли к выводу, что наклонные брэгговские решетки могут быть применены для контроля качества изготовления и контроля повреждений аэрокосмических композитов [3].

Другой группой исследователей (Xin Tian, Xiaofan Zhao и др.) изучен потенциал использования брэгговских решеток в мощных волоконно-лазерных системах. Экспериментальные результаты показали, что, если длина волны Брэгга находится в диапазоне спектра романовского усиления с относительно высоким коэффициентом усиления, очень слабое брэгговское отражение может быть значительно усилено, что серьезно повлияет на выходную мощность лазера, эффективность и качество луча [4].

Другими исследователями были изучена зависимость ширины спектра пропускания наклонной брэгговской решетки от коэффициента преломления среды и по результатам проведенного эксперимента пришли к выводу, что наклонные брэгговские решетки могут использоваться для измерения коэффициента преломления среды [5].

Нами же было проведено исследование с целью определения зависимости длины волны брэгговской решетки от температуры окружающей среды.

### Материалы и методы исследования

Для проведения эксперимента авторами были использованы два оптических светочувствительных волокна с нанесенными на них методом фазовой маски наклонными брэгговскими решетками с периодом решеток 540 нм и длиной 10 мм. На одно волокно была нанесена решетка с углом наклона в  $3^\circ$ , а на второе – с углом наклона  $5^\circ$ . Оба волокна были подключены к источнику света с одной стороны и к оптическому анализатору с другой. Участки, близкие к серединам кабелей, были зачищены, защитная оболочка кабелей была удалена. Этот участок был помещен в контейнер с 10%-ным раствором воды с тростниковым сахаром, показатель преломления среды в растворе составил 1,3479. Контейнер с раствором и волокнами был помещен в климатическую камеру.

В нашем эксперименте сигнал был отправлен в наклонную брэгговскую решетку из источника света, который соединен с решеткой при помощи одномодового оптического волокна. Кабель был помещен в контейнер с раствором, контейнер – в климатическую камеру, температура варьировалась от 0 до  $50^\circ\text{C}$  с шагом в  $5^\circ$ . Спектры пропускания решетки поступали в оптический анализатор, после этого можно было вести работу с данными, проводить анализ спектров пропускания решетки. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования зависимости длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры

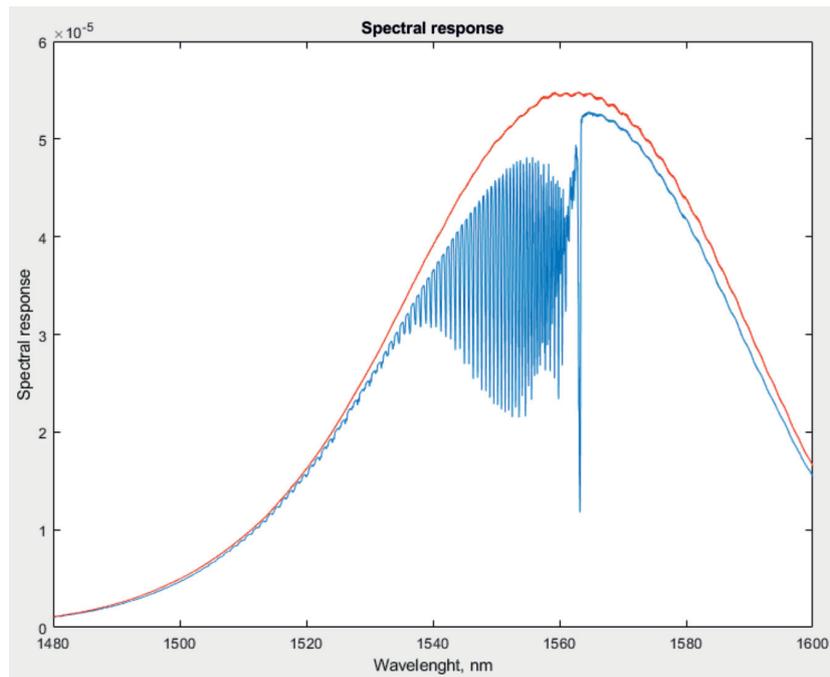


Рис. 2. Спектральный отклик наклонной решетки

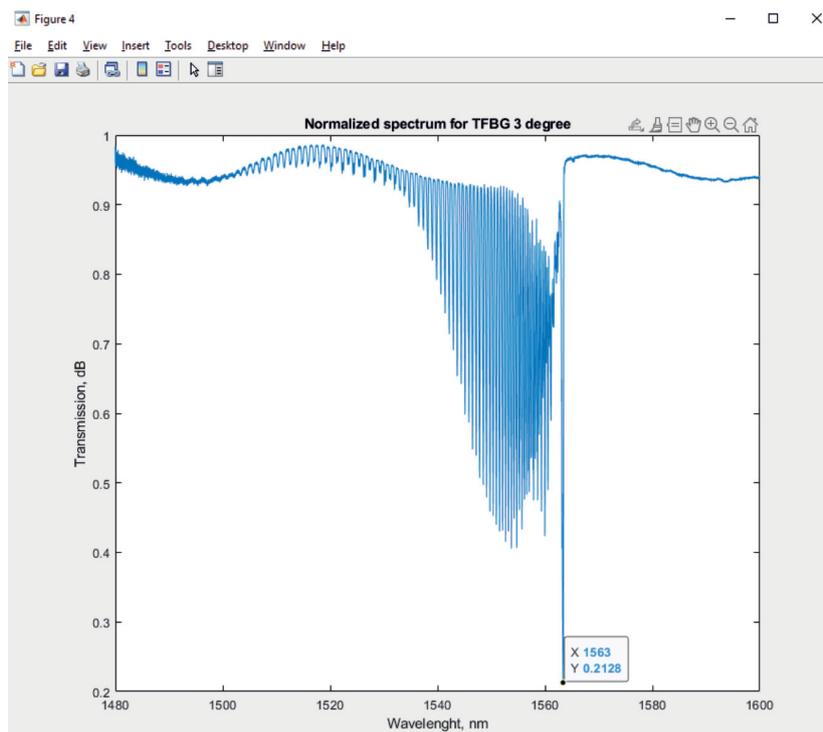


Рис. 3. Длина волны наклонной решетки

### Результаты исследования и их обсуждение

После проведения эксперимента, по полученным данным построен нормированный спектр решетки в среде Matlab.

Нормированный спектр был получен нами путём соотношения спектра решетки на спектр источника света – синей линии на красную (рис. 2). Длина волны наклонной брэгговской (рис. 3) решетки менялась при повышении температуры

окружающей среды. В ходе эксперимента выявлена зависимость 10 полученных значений длины волны от 10 значений температуры для наклонной брэгговской решетки с углом наклона в  $3^\circ$  (таблица) и на основе этой зависимости построен график (рис. 4).

После проведения аппроксимации была отмечена явная линейная зависимость длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры окружающей среды. Согласно полученной зависимости, формула аппроксимирующей линии

имеет вид  $y = -5,5691x + 0,2220$ , что говорит о линейной природе зависимости длины волны брэгговской решетки от температуры окружающей среды (рис. 5).

При повышении температуры окружающей среды до  $25^\circ\text{C}$  длина волны наклонной брэгговской решетки меняется, но изменения незначительны. Изменение длины волны особенно заметно на участке от  $30^\circ\text{C}$  до  $40^\circ\text{C}$ . При прохождении порога в  $40^\circ\text{C}$  изменение длины волны достигло максимального значения в рамках проведенного эксперимента.

Зависимость длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры окружающей среды

Температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$	Длина волны наклонной брэгговской решетки, нм
0	0,216
5	0,2178
10	0,2139
15	0,2128
20	0,2133
25	0,2104
30	0,2139
35	0,2126
40	0,2056
45	0,1939
50	0,1788

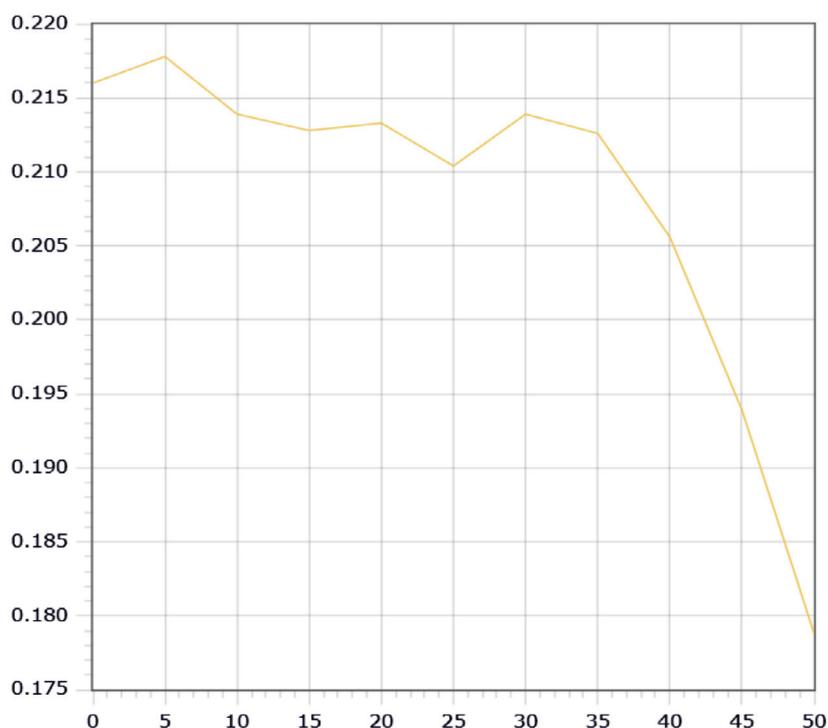


Рис. 4. График зависимости длины волны от температуры окружающей среды

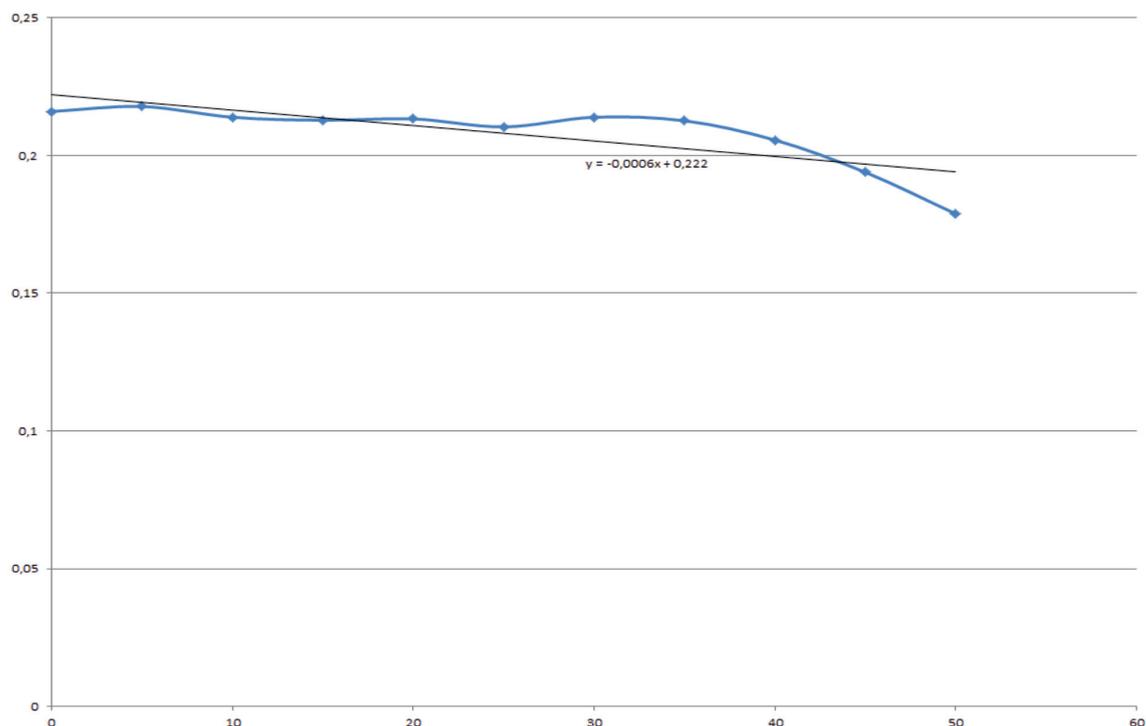


Рис. 5. Аппроксимация зависимости

### Заклучение

Таким образом, в ходе нашего исследования нами выявлена линейная зависимость длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры окружающей среды. Следовательно, значение длины волны наклонной брэгговской решетки можно использовать как индикатор изменения температуры окружающей среды. Данная характеристика длины волны представляет большой интерес в контексте практического применения в производстве для мониторинга температуры. Считаем, что для этого следует повторить те же измерения длины волны для других углов наклона наклонных брэгговских решеток.

### Список литературы

1. K. Kesavan, B. Arun Sundaram, A.K. Farvaze Ahmed, S. Parivallal, Pbiswas, S. Bandyopadhyay, K. Ravisankar and Umesh Tiwari. Performance assessment of indigenously developed FBG strain sensors under short-term and long-term loadings CSIR-Structural Engineering Research Centre, Council of Scientific and Industrial Research, India Central Glass and Ceramic Research Institute, Council of Scientific and Industrial Research. 2015. Vol. 40. No. 2. P. 577–590.
2. Solomon Udoh, James Njuguma, Radhakrishna Prabhu. Modelling and Simulation of Fiber Bragg Grating Characterization for Oil and Gas Sensing Applications. Proceedings of the 2014 First International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation (2014). IEEE Computer Society, 2014. P. 255–260.
3. Ma K.-P., Wu C.-W., Tsai Y.-T., Hsu Y.-C., Chiang C.-C. Internal Residual Strain Measurements in Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates Curing Process Using Embedded Tilted Fiber Bragg Grating Sensor. *Polymers*. 2020. Vol. 3 No. 12. P. 1472–1479.
4. Xin Tian, Xiaofan Zhao, Meng Wang, Qihao Hu, Hongye Li, Binyu Rao, Hu Xiao, Zefeng Wang. Influence of Bragg reflection of chirped tilted fiber Bragg grating on Raman suppression in high-power tandem pumping fiber amplifiers. *Optics Express*. 2020. Vol. 28. No. 13. P. 19508–19517.
5. Tolegenova A., Kisała P., Zhetpisbaeva A., Mamyrbaev O., Medetov B. Experimental determination of the characteristics of a transmission spectrum of tilted fiber bragg gratings. *Metrol. Meas. Syst.* 2019. Vol. 26 No. 3. P. 581–589.

УДК 004:614.88

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕБНО-ЭВАКУАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ АКТАХ В РФ

**Малкина Н.В., Букаев О.Н., Болванович А.Е., Добкина С.А., Юматова Е.В.**  
 ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
 им. Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: Nat-Mal2008@yandex.ru

В статье дана оценка результативности лечебно-эвакуационного обеспечения в ходе террористических актов в г. Беслане, Северная Осетия, 1–3 сентября 2004 г., а также в г. Керчи, Республика Крым, 17 октября 2018 г. На основании анализа документальных сведений о террористических актах, отчетов ВЦМК «Защита», статей, опубликованных в интернет-ресурсах, нами сделан вывод о высокой степени эффективности действий медицинских работников, призванных участвовать в оказании помощи во время тех трагических событий. Доказательством явилось то, что формирования и учреждения службы медицины катастроф разработали и осуществили все необходимые лечебно-эвакуационные мероприятия. Помощь пораженным в теракте в г. Беслане при ЧС была организована в два этапа. Незамедлительно был приведен в готовность Всероссийский центр медицины катастроф «Защита». Вблизи от очага катастрофы был развернут полевой педиатрический госпиталь, высококвалифицированные действия его персонала позволили уменьшить количество безвозвратных потерь. Эффективность оказания экстренной медицинской помощи обусловлена также и своевременным использованием санитарной авиации Аэромобильного госпиталя МЧС России. Огромный вклад в помощь пострадавшим после массового расстрела в г. Керчи в 2018 г. внесли Министерство здравоохранения Российской Федерации, Министерство здравоохранения города Москвы и Министерство здравоохранения Краснодарского края. Были успешно решены следующие задачи: своевременное оказание экстренной медицинской помощи с учетом состояния пораженных в зоне ЧС; вынос (вывоз) пораженных из зоны ЧС; проведение медицинской сортировки; эвакуация пораженных, которым было необходимо квалифицированное и специализированное лечение в соответствующих медицинских организациях.

**Ключевые слова:** террористический акт, учебные учреждения, лечебно-эвакуационное обеспечение, экстренная медицинская помощь, санитарная авиация

## ASSESSMENT OF THE LEVEL OF EMERGENCY MEDICAL CARE FOR PEOPLE DURING TERRORIST ACTS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Malkina N.V., Bukayev O.N., Bolvanovich A.E., Dobkina S.A., Yumatova E.V.**  
 Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: Nat-Mal2008@yandex.ru

The article assesses the effectiveness of medical and evacuation support during the terrorist act in Beslan, North Ossetia) on September 1–3, 2004, also Kerch, Republic of Crimea October 17, 2018. Based on the analysis of documentary information about the terrorist act, the reports of the All-Russian Center for Disaster Medicine «Protection», articles published on the Internet, we concluded that the effectiveness of the actions of medical workers designed to participate in the provision of assistance during those tragic events is high. Evidence of this was that the formations and institutions of the disaster medicine service developed and implemented all the necessary medical evacuation measures. Assistance to affected people from Beslan in emergency situations was organized in two stages. Immediately, the All-Russian Center for Disaster Medicine «Protection» was put on standby. A field pediatric hospital was deployed near the disaster center, the highly qualified activities of its personnel made it possible to reduce the number of irretrievable losses. The effectiveness of emergency medical care is also due to the timely use of air ambulance at the Aeromobile Hospital of the Russian Emergencies Ministry. The work of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow and Krasnodar hospitals provided high-level assistance. The following tasks were successfully solved: timely provision of emergency medical care, based on the condition of those affected in the emergency zone; removal of injured persons from the emergency zone; medical sorting; evacuation of affected persons who needed qualified and specialized treatment in the relevant medical organizations.

**Keywords:** terrorist act, education institutes, medical-evacuation support, field pediatric hospital, emergency medical care, medical aviation

С наступлением XXI в. в России прослеживается значительный рост терактов: в 5–10 раз больше, чем число природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций. Часто преступниками руководят импульсивность, невежество и влияние СМИ. Наиболее распространенными способами осуществления террористической деятельности считаются взрывы жилых домов, вагонов метро и захваты заложников [1].

Как правило, террористические акты совершаются в большинстве случаев в местах

большого скопления людей [2]. Так было при теракте в 2002 г. на Дубровке, унесшем жизни 120 человек, в 2004 г. при взрывах самолетов Ту-154 и Ту-134 в воздухе над Тульской и Ростовской областями – 90 погибших, при захвате заложников в школе г. Беслана. За данный период число безвозвратных потерь составило 334 человека, среди которых 186 детей. При взрывах в 2010 г. на станциях метро «Лубянка» и «Парк культуры» – 41 погибший, в 2018 г. после керченского расстрела умер 21 человек (рис. 1). И это

не полный список всех проявлений терроризма в Российской Федерации.

Казалось бы, каждая осенняя пора – это время для начала или продолжения получения знаний. Но, увы, уже дважды в истории нашей страны она оказывалась не дивной, как писал Тютчев, а кровавой. Даже в наше время охрана учебных заведений при наличии записывающих камер не является преградой для злых умыслов преступников. Видимо, ничто и никто не может помешать террористу, одержимому своей идеей.

Мотивы преступников часто непредсказуемы. Возможно, кто-то из них хочет так обратить на себя внимание окружающих, получить власть над людьми либо же отстоять отличающиеся от остальных религиозные или политические устои. Однако ничто из этого не может оправдать действия преступников, потому что результатом их безрассудства являются множество поломанных жизней [3].

Для школьников, студентов террористический акт может окончиться по-разному: психической дезадаптацией, травмами, увечьями, а в худшем итоге – смертью. Так, при захвате заложников в школе г. Беслана число безвозвратных потерь составило 334 человека, среди которых 186 детей [4]. Керченским стрелком в 2018 г. стал студент 4-го курса политехнического колледжа, от его действий погибли 20 человек, среди которых 15 студентов и 5 работников

колледжа. Окончил жизнь самоубийством и сам террорист. Кроме того, также пострадали около 67 человек [5].

Целью работы явилась оценка результативности лечебно-эвакуационного обеспечения в ходе террористического акта в учебных учреждениях на основе данных г. Беслана и г. Керчи.

#### Материалы и методы исследования

Документальные сведения о террористическом акте в г. Беслане, отчеты ВЦМК «Защита», статьи, опубликованные в интернет-ресурсах, о керченском стрелке.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Воздействие факторов терроризма неодинаково сказывается на индивидуально-психологических характеристиках населения и спасателей. Страх перед повторением терактов, хроническое чувство беспомощности (особенно при пережитом теракте в детском возрасте) приводят к развитию различных форм расстройств. Если поражающий фактор охватывает определенное число жертв и пострадавших, то психологический фактор увеличивает их в несколько раз [6].

Рассмотрим, как же было организовано лечебно-эвакуационное обеспечение при совершенном крупном террористическом акте в г. Беслане в сентябре 2004 г.

Погибшие в ходе террористических актов в РФ

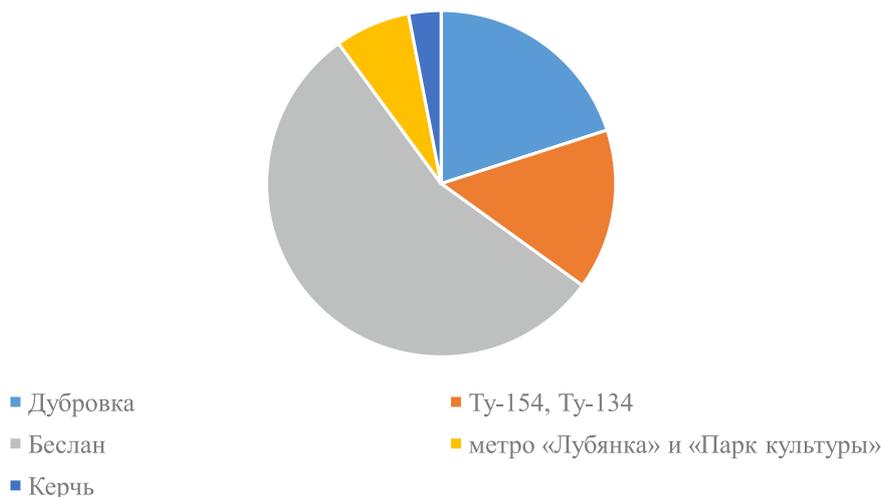


Рис. 1. Потери среди населения из-за террористических актов (начало XXI в.). Показаны процентные соотношения: при теракте на Дубровке в 2002 г. (голубым, 20%), при взрывах самолетов Ту-154 и Ту-134 в воздухе над Тульской и Ростовской областями в 2004 г. (оранжевый, 3%), при захвате школы в г. Беслане в 2004 г. (серым, 55%), при взрывах на станциях метро «Лубянка» и «Парк культуры» в 2010 г. (желтым, 7%), при расстреле в колледже г. Керчи в 2018 г. (синим, 7%)

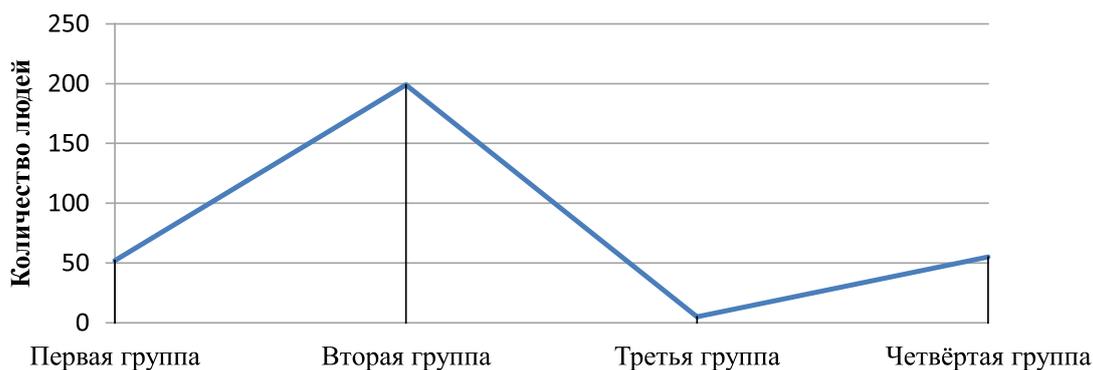


Рис. 2. Группы пораженных: находившиеся в крайне тяжелом состоянии – первая группа; в состоянии тяжелой и средней степени тяжести, без угрозы для жизни – вторая группа; в состоянии средней степени тяжести – третья группа; легкораненные – четвертая группа

1 сентября в школе № 1 в 10 ч утра произошел захват в заложники учеников и их родственников. Сразу же к месту трагедии из ближайших станций и подстанций скорой помощи прибыли фельдшерские, врачебные бригады, а также бригады специализированной медицинской помощи (педиатрические, травматологические, психиатрические) из ближайших клиник, для координации их работы прибыла оперативная группа центра медицины катастроф [4].

Во второй день была подключена санавиация – Аэромобильный госпиталь МЧС России и бригада специализированной медицинской помощи, в состав которой входили педиатры, травматологи, анестезиологи-реаниматологи, детские хирурги, отоларинголог, медицинские сестры.

На территории центральной городской больницы г. Беслана был развернут полевой педиатрический госпиталь: приемно-сортировочный модуль, большая и вторая малые операционные, госпитально-эвакуационный модуль, два жилых модуля, модуль связи, полевая кухня и морг. Также имелся распределительный пункт, где проводили сортировку взрослых и детей [4]. Еще в далеком прошлом известный русский хирург Н.И. Пирогов подчеркивал его значимость: «Без распорядительности и правильной администрации нет пользы от большого числа лекарей, а если их к тому же мало, то большая часть раненых останется вовсе без помощи».

3 сентября на территории учебного заведения на сортировочную площадку доставили пострадавших. Эвакуация производилась машинами скорой помощи и частным транспортом. Среди детей были транспортированы 311 человек, затем их распределили следующим образом (рис. 2) [2, 4].

Первая группа (52 ребенка) – такие лица нуждаются в медицинской помощи, кото-

рая должна быть оказана немедленно, так как является необходимой по жизненным показаниям. Это, прежде всего, пораженные, находящиеся в крайне тяжелом состоянии с выраженными нарушениями функций органов.

Вторая группа (199 детей) – это пострадавшие с тяжелыми и средними по степени тяжести повреждениями (ранениями), не представляющими в данное время непосредственной угрозы для жизни.

Третья группа (5 детей) – ни один из них не погиб. Они имели поражения средней степени тяжести, им проводилась симптоматическая терапия.

Четвертая группа (55 детей) – это пострадавшие с легкими повреждениями (легкораненные), не нуждающиеся в оказании медицинской помощи в экстренной и неотложной формах. Им оказывались психологическая поддержка, общий уход.

На догоспитальном этапе медицинской эвакуации пораженным проводились следующие медицинские мероприятия: введение противостолбнячной сыворотки, дыхательных и сердечных analeптиков, антибиотиков, обезболивающих средств; оксигенотерапия, при необходимости накладывали жгут, повязки, предоставляли возможность транспортной иммобилизации и др. [4, 6].

На госпитальном этапе медицинской эвакуации в условиях полевого педиатрического госпиталя проводились: противошоковая терапия, борьба с асфиксией и в последующем – восстановление дыхательной функции, остановка кровотечений, хирургические вмешательства [1].

Эвакуация в лечебные учреждения (таблица) проводилась при относительно благополучном состоянии пострадавших. В первую очередь эвакуации подлежали люди с повреждениями черепа и костей

таза, в состоянии шока тяжелой степени тяжести; с проникающими ранениями; с открытым пневмотораксом; с признаками внутреннего кровотечения [1, 6].

Признаки, обуславливающие отсрочку оказания первой помощи на ближайшее время: пылающая одежда; нахождение человека под завалами [2]. Правильная организация управления эвакуацией с целью обеспечения сбалансированной и одновременной нагрузки на медицинские учреждения и формирования для своевременного направления пораженных в соответствующие профильные лечебные учреждения позволяет минимизировать время их транспортировки в лечебные учреждения. При этом пострадавшие с похожими проблемами по здоровью быстрее эвакуируются, снижаются невыгодные, особенно в критических ситуациях, межбольничные перевозки [6].

Таким образом, 300 детей были госпитализированы во владикавказские медицинские учреждения: в Республиканскую детскую клиническую больницу, Клиническую больницу скорой помощи, Республиканскую клиническую и Правобережную муниципальную ЦРБ.

На базе медицинских учреждений Северной Осетии провели 165 хирургических вмешательств, в структуре преобладали первичная хирургическая обработка ран мягких тканей, внутриполостные операции и трепанация черепа.

В Ростов были транспортированы 11 детей, среди которых 3 с тяжелыми ожогами были госпитализированы в ожоговый центр городской больницы № 20, а оставшиеся с огнестрельными ранениями – в областную детскую больницу.

В следующие дни санавиацией Министерства обороны и МЧС 135 детей были эвакуированы в Москву, большая их часть получала высококвалифицированную по-

мощь в Детской городской клинической больнице № 9 им. Г.Н. Сперанского и Центральном институте травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова [7].

Другим примером чрезвычайной ситуации является террористический акт в керченском политехническом колледже. Массовый расстрел совершил студент 17 октября 2018 г., пройдя через запасной вход с самодельным взрывным устройством [4].

Нельзя недооценивать эффективность лечебно-эвакуационного обеспечения и в данном случае. Работали 9 бригад скорой помощи, 10 операционных, была задействована санавиация. Так, по словам губернатора Краснодарского края, из Кубани безотлагательно было отправлено два вертолета с медиками [8].

Принципы оказания помощи схожи с теми, что применялись в условиях террористического акта 2004 г., но имеются некоторые отличия, так как среди поврежденных, нанесенных в ходе действий студента, отмечались преимущественно термические ожоги разных степеней тяжести, ранения и переломы конечностей.

Эвакуация осуществлялась (таблица) в Керченскую городскую больницу № 1 им. Н.И. Пирогова, РКБ им. Н.А. Семашко, Республиканскую детскую клиническую больницу, Симферопольскую клиническую больницу скорой медицинской помощи № 6, а также в другие регионы РФ, в том числе и в Москву [9]. 12 пострадавших были доставлены в медицинские учреждения столицы. В темрюкские клиники были госпитализированы 2 пациента, в краснодарские – 9 [5].

Психиатрическими бригадами специализированной медицинской помощи была проделана немалая работа по восстановлению психического благополучия пострадавших и их родных, оказана поддержка родственникам погибших людей.

Размещение эвакуированных людей после терактов г. Беслане и г. Керчи

Беслан	Керчь
Республиканская детская клиническая больница, г. Владикавказ	Керченская городская больница № 1 им. Н.И. Пирогова
Клиническая больница скорой помощи, г. Владикавказ	РКБ им. Н.А. Семашко, г. Симферополь
РКБ г. Владикавказ	Крымская республиканская детская клиническая больница
Правобережная муниципальная ЦРБ, г. Владикавказ	Симферопольская клиническая больница скорой медицинской помощи № 6
Детская городская клиническая больница № 9 им. Г.Н. Сперанского, г. Москва	Клиники г. Москвы
Центральный институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, г. Москва	Клиники г. Темрюка
Ожоговый центр городской больницы № 20, г. Ростов	Клиники г. Краснодара
Областная детская больница, г. Ростов	

### Заключение

Учитывая анализ информации о лечебно-эвакуационном обеспечении и об оказании экстренной медицинской помощи при террористическом акте детям в г. Беслане, можно сделать вывод о несомненной эффективности службы медицины катастроф. Это связано с тем, что:

– система медицинского обеспечения ВЦМК «Защита» на этапах лечебно-эвакуационного обеспечения была приведена в полную готовность;

– за счет развертывания полевого педиатрического госпиталя вблизи места чрезвычайной ситуации сократилось число безвозвратных потерь;

– действенность оказания экстренной медицинской помощи обусловлена также и своевременным использованием санитарной авиации – аэромобильного госпиталя МЧС России [6].

Были успешно осуществлены следующие задачи: своевременное оказание медицинской помощи исходя из состояния пораженных в зоне ЧС; вынос (вывоз) пораженных из зоны ЧС; проведение медицинской сортировки; подготовка и эвакуация пораженных, которым было необходимо квалифицированное и специализированное лечение в соответствующих лечебных организациях.

В основе организации лечебно-эвакуационного обеспечения наблюдается двухэтапность при оказании помощи пораженным в очаге катастрофы [1]:

1) своевременная медицинская помощь, сортировка и эвакуация в лечебные организации, осуществляемые в зоне ЧС;

2) медицинская помощь, оказываемая вне зоны ЧС.

В г. Керчи в октябре 2018 г. отмечались высокие результаты лечебно-эвакуационного обеспечения при трагических событиях в колледже. Тогда ушли из жизни 16 чело-

век, в лечебных учреждениях погибли 4 человека, на этапе эвакуации – 1 человек. Это подтвердил А.А. Шувалов, по настоящее время занимающий должность главы Комитета Государственного Совета Республики Крым по труду, социальной защите, здравоохранению и делам ветеранов. Он уточнил, что в стационарных условиях лечение получили 42 человека, из них 25 детей. 13 пострадавшим была оказана амбулаторно-поликлиническая медицинская помощь [8].

Подводя итог, следует сказать, что если следовать опыту Беслана и Керчи, то лечебно-эвакуационное обеспечение в РФ всегда будет оставаться на высоком уровне.

### Список литературы

1. Букаев О.Н., Болванович А.Е., Малкина Н.В. Медицина катастроф: практикум. Саранск: Издатель Афанасьев В.С., 2019. 168 с.
2. Колесниченко П.Л., Лошаков А.М., Степович С.А., Котенко К.В., Корчажкина Н.Б., Восканян С.Э. Медицина катастроф: учебник. М.: ГЭОТАР – Медиа, 2017. 448 с.
3. Кровавая бойня в Керчи: почему 18-летний парень пошел на преступление? [Электронный ресурс]. URL: <https://news.obozrevatel.com/society/terakt-v-kerchi-chto-podtolknulo-18-letnego-strelka-na-uzhasnoe-prestuplenie.htm> (дата обращения: 13.04.2021).
4. Розинов В.М. Опыт Беслана: Эффективность лечебно-эвакуационного обеспечения детей // Российский вестник. 2015. Т. 5. № 1. С. 33–41.
5. При нападении на керченский колледж пострадали 67 человек. [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20181031/1531859155.html> (дата обращения: 13.04.2021).
6. Гончаров С.Ф. Медицинское обеспечение населения при террористических актах: учебное пособие для врачей. М.: ВЦМК «Защита», 2016. 78 с.
7. Источник рассказал о подготовке керченского стрелка к преступлению. [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20181020/1531114891.html> (дата обращения: 13.04.2021).
8. «Погибшие скончались от огнестрельных ранений»: число жертв ЧП в Керчи возросло до 19. [Электронный ресурс]. URL: <https://russian.rt.com/russia/article/564821-vzryv-kerch-kolledzh> (дата обращения: 13.04.2021).
9. Всем пострадавшим в Керченском политехническом колледже оказывается необходимая медицинская помощь. [Электронный ресурс]. URL: <https://mzdrav.rk.gov.ru/r/article/show/886> (дата обращения: 13.04.2021).

## К ВОПРОСУ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

**Шатманов О.Т., Эсеналиев Т.Б., Дуйшебаев С.С.**

*Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры  
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: turdakun25@mail.ru*

В статье проведен анализ состояния пассажирских перевозок в Кыргызской Республике и изложены основные задачи по решению проблем при пассажирских перевозках. Пассажирские перевозки являются важным показателем социального и экономического развития страны в целом. Они показывают, насколько ритмично развивается вся инфраструктура государства по удовлетворению потребностей населения. Для Кыргызстана автомобильные пассажирские перевозки остаются предпочтительными, лишь около 6% пассажирских перевозок приходится на другие виды транспорта. Страна разделена горными перевалами на части, что делает пассажирское сообщение между областями достаточно трудным. Особенно это сказывается при организации пассажирских перевозок между районными центрами и отдаленными селениями. Данный фактор мешает и развитию железнодорожного транспорта. В республике имеется 420 км железных дорог. Одной из основных проблем при организации пассажирских перевозок является отсутствие современной инфраструктуры, плохое состояние районных дорог и устаревающий парк пассажирского автотранспорта. Отсутствие прямого автобусного сообщения между областями создает для населения некоторые сложности, при этом людям приходится переплачивать за поездку на такси. Перевозку пассажиров на такси в стесненных условиях нельзя назвать комфортабельной. Старение парка автотранспортных средств для пассажирских перевозок делает данный вид услуг нерентабельным. На внутреннем рынке люди предпочитают ездить на личном транспорте, даже если это невыгодно и неудобно. Общественный транспорт не может предоставить равные условия поездки. В городском транспорте лишь около 8% составляют автобусы и троллейбусы. Для улучшения ситуации в области пассажирских перевозок нужны инвестиции, что в свою очередь требует улучшения нормативно-законодательной базы в области транспорта, стабильного инвестиционного климата.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, транспорт, пассажирооборот, автобус, возрастная структура, маршрут, поездка, сообщения

## TO THE QUESTION OF PASSENGER TRANSPORTATION IN THE KYRGYZ REPUBLIC

**Shatmanov O.T., Esenaliev T.B., Duyshebaev S.S.**

*Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named N. Isanov,  
Bishkek, e-mail: turdakun25@mail.ru*

The article analyzes the state of passenger traffic in the Kyrgyz Republic and sets out the main tasks for solving problems in passenger traffic. Passenger traffic is an important indicator of the social and economic development of the country as a whole. It shows how rhythmically the entire infrastructure of the state is developing to meet the needs of the population. For Kyrgyzstan, automobile passenger transportation remains preferred and only about 6% of passenger transportation falls on other types of transport. The country is divided by mountain passes into parts, which makes passenger connections between the regions rather difficult. This is especially true when organizing passenger traffic between regional centers and remote villages. This factor also hinders the development of railway transport. The country has only 420 km. railways. One of the main problems in the organization of passenger transportation is the lack of modern infrastructure, the poor condition of regional roads and the obsolete passenger vehicle fleet. The lack of a direct bus service between the regions creates some difficulties for the population, while people have to pay extra for a taxi ride. The aging of the vehicle fleet for passenger transportation makes this type of service unprofitable. In the domestic market, people prefer to travel by personal transport, even if it is not profitable and inconvenient. Public transport cannot provide a level playing field. In urban transport, only about 8% are buses and trolleybuses of all transport carrying passengers. Transportation of passengers by taxi in cramped conditions cannot be called comfortable. To improve the situation in the field of passenger transportation, investments are needed, which in turn requires an improvement in the regulatory and legislative framework in the field of transport, a stable investment climate.

**Keywords:** passenger traffic, transport, passenger turnover, bus, age structure, route, trip, messages

Уровень пассажирских перевозок является одним из ярких показателей стран в социальном секторе. Тесные связи между регионами связывают людей, делают их более близкими, сплочёнными, способствуют развитию региона и населения.

Технологическое развитие и информационная глобализация предъявляет к пас-

сажирским перевозкам высокие требования к качеству перевозок, транспортной безопасности, к комфорту и сервису.

Целью исследования является выявление состояния пассажирских перевозок и определение наиболее важных направлений по развитию пассажирских перевозок в стране.

**Материалы и методы исследования**

Кыргызстан является горной страной. Около 90% ее территории расположено на высоте более 3000 м над уровнем моря. Это обуславливает осуществление пассажирских перевозок в основном автомобильным транспортом, на долю которого приходится 97% пассажирооборота.

В КР за последние 7 лет пассажирооборот всех видов транспорта увеличился в 1,26 раза. Так, в 2013 г. объем пассажирооборота составлял 10378,1 млн п-км, а в 2019 г. показатель составил 13134,9 млн п-км (табл. 1) [1].

Республика поделена на 7 областей (рис. 1), и большая часть населения проживает на юге Кыргызстана, включая Джалал-Абадскую, Ошскую и Баткенскую области. Северную часть страны от южной отделяют два больших перевала Тоо-Ашуу высотой 3586 м и перевал Ала-Бель высотой 3184 м, движение по которым автобусам запрещено. Пассажирское сообщение между севером и югом страны осуществляется в основном легковыми автомобилями вместимостью до 8 человек. Особенно тя-

желыми становятся условия перевозки пассажиров в осенне-зимний период, когда появляется гололедица [2].

Население северной части страны сосредоточено в основном в Чуйской области, где и находится столица Кыргызстана г. Бишкек с населением более 1 млн чел.

Сектор автомобильного транспорта по перевозке пассажиров в Кыргызской Республике состоит из 350 юридических лиц, оказывающих услуги пассажирского автомобильного транспорта, из которых 70 являются юридическими лицами – пассажирские такси, 270 юридических лиц для перевозки пассажиров автобусами и микроавтобусами и около 65 тыс. физических лиц занимаются перевозкой пассажиров [3].

Система международных договоров Кыргызской Республики в области автомобильного права включает Женевскую конвенцию ЕЭК ООН 1973 г. о договоре международной дорожной перевозки пассажиров и багажа, Бишкекскую конвенцию СНГ о МАП пассажиров и багажа 1997 г. (КМАПП) и Женевскую конвенцию ЕЭК ООН 1956 г. о налогообложении дорожных перевозочных средств.

**Таблица 1**

Пассажирооборот всех видов транспорта, млн пасс.-километров

Виды транспорта	Годы						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Транспорт. Всего	10378,1	10776,8	11012,5	11333,6	12279,3	12516,2	13134,9
ЖД	55,5	42,9	40,8	40,8	43,4	35,0	36,8
Автобусы	7717,7	8000	8410,4	8839,3	8931,5	9305,6	10490,2
Троллейбусы	77,8	82,5	95,6	106,1	120,2	137,1	148,8
Такси	427,7	471,4	499,6	546	569,1	642,4	752,1
Воздуш.	2099,4	2180	1966,1	1801,4	2615,2	2396,1	1707,0



Рис. 1. Административное деление КР

КР заключила двусторонние соглашения о международном автомобильном сообщении с 19 государствами: Россия, Беларусь, Китай, Казахстан, Армения, Узбекистан, Таджикистан, Туркменистан, Азербайджан, Грузия, Украина, Молдова, Германия, Польша, Латвия, Турция, Иран, Пакистан, Монголия. А также заключены два межведомственных соглашения с Францией и Австрией. Ведется работа по заключению соглашений по автомобильному сообщению со следующими странами: Венгрия, Болгария, Норвегия, Финляндия, Чехия, Словакия, Литва, Эстония и др.

Также существует восемь многосторонних соглашений в области автомобильного транспорта по линии ЕАЭС, стран ОЭС (туркоязычные страны), стран ТРАСЕКА и стран участников СНГ.

Не требуется разрешений при нерегулярных перевозках пассажиров:

- на двусторонние перевозки и транзитный проезд: Армения, Беларусь, Молдова, Таджикистан;
- на двусторонние перевозки: Украина;
- на транзитный проезд: Бельгия, Босния и Герцеговина, Венгрия, Испания.

Протяженность автобусных маршрутов в стране составляет 82444,2 км, задействованы более 9,5 тыс. автобусов разной вместимости. В конце 2019 г. в республике насчитывалось 995 автобусных маршрутов, из них международных – 49 [4].

В табл. 2 показано количество объектов, обслуживающих пассажиров по республике. Всего в республике имеется 46 автовокзалов и автостанций (рис. 2).

По данным МТиД в 2019 г. индивидуальными предпринимателями перевезено 752 млн пасс., на 33 % больше чем в 2015 г. Международные перевозки производятся по 24 направлениям, в том числе направления в Россию (10), Казахстан (6), Китай (4), Узбекистан (4). На январь 2018 г. количество международных рейсов составляет 151, количество работающих автобусов 282 шт., общая протяженность маршрутов 33639 км. Среднее количество поездок автобусным транспортом на одного человека показано на рис. 3.

В 2019 г. автомобильные пассажирские перевозки составили 93,5 % от общего объема или 756,1 млн чел. Из них перевозки пассажиров муниципальными автобусами составили 7,3 или 55,1 млн чел. и увеличились по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. на 30 %.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рыночные условия предъявляют высокие требования к пассажирским перевозкам в КР, состояние транспортной инфраструктуры и уровень обслуживания должны отвечать показателям мирового уровня.

Таблица 2

Количество автовокзалов, автостанций и автокасс

		Автовокзалы	Автостанции	Автокассы
Всего объектов		10	36	21
Из них:	государственные	7	12	10
	частные	3	24	11

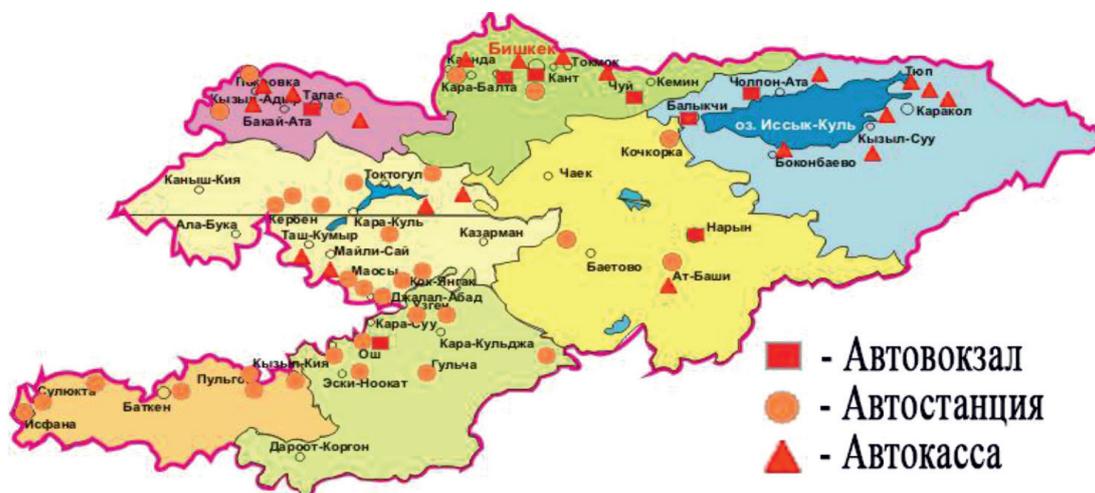


Рис. 2. Схема расположения автовокзалов, автостанций и автокасс

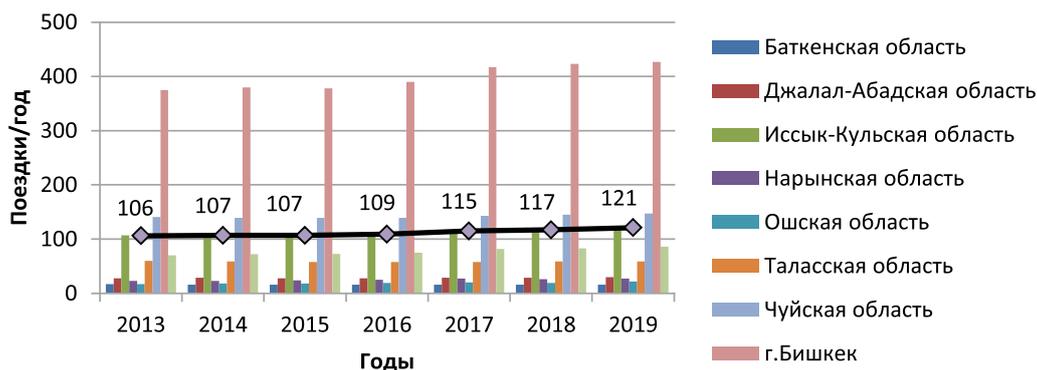


Рис. 3. Среднее количество поездок автобусным транспортом на одного человека, поездок/год

Договор о международной автомобильной перевозке пассажиров – это особый вид внешнеэкономической сделки, особый коммерческий договор: автомобильная перевозка обычно осуществляется не сторонами договора, а связанными с ними компаниями, которые сами могут заключать договор перевозки. Общие условия пассажирских перевозок утверждены постановлением Правительства КР от 23 сентября 2013 года № 519 [5].

Поднятия уровня пассажирских перевозок на новую ступень, как отмечают зарубежные эксперты, можно достичь только с использованием современных технологий и высоких стандартов перевозки.

Внешние перевозки связаны с международными стандартами, и отклонение от них приводит к нарушениям условий договоров.

МТиД КР совместно с кыргызскими автоперевозчиками провело ряд переговоров с производителями автомобильной техники из разных стран по вопросу совместного сотрудничества в части обновления подвижного состава.

Пассажирские перевозки играют важную роль для развития регионов и населения в целом, для культурного развития людей, в поддержании связей между различными регионами. Более 160 (8,9%) населенных пунктов страны из 1807 в настоящее время не имеют автобусного сообщения. Это прежде всего связано с нерентабельностью маршрутов, невозможностью субсидировать со стороны государства автобусные сообщения. Есть и другие немаловажные факторы, которые делают перевозки нерентабельными. Среди них плохое состояние дорог отдаленных населенных пунктов, государственное регулирование тарифов на внутренние перевозки, нерегулирование деятельности легковых такси. Нерегулирование деятельности легковых такси приво-

дит к неравной конкуренции между ними и пассажироперевозчиками.

Некоторые звенья технологического процесса по отправке пассажиров с автовокзалов на сегодняшний день устарели и требуют новых подходов. В частности, в рамках дерегулирования и минимизации вмешательства государства в экономику необходимо изучить вопрос постепенной передачи функций государственных автовокзалов по реализации билетов в руки пассажироперевозчиков и дать им возможность самим продавать билеты на территории автовокзалов. Такая модель обслуживания пассажиров на автовокзалах широко применяется в развитых странах, данная модель исключает риски, связанные с сокрытием информации о фактическом количестве отправляемых пассажиров, так как пассажироперевозчик в силу ряда причин будет заинтересован в максимальной продаже билетов и заполняемости автобуса (повышение прибыльности, ответственность перед фискальными органами).

В условиях развития информационно-коммуникационных технологий, у государственных автовокзалов (за исключением Бишкекского автовокзала) по-прежнему отсутствуют свои интернет-сайты с размещением на ней необходимой информации для пассажиров.

Для обеспечения работы убыточных автобусных маршрутов необходимо совместно с местными органами власти разработать и внедрять проекты по поддержке пассажироперевозчиков.

Во многих развитых странах пассажирский транспорт субсидируется государством, но для стран с низким уровнем доходов это непростая задача.

В таких условиях развития ситуации необходимо отдавать приоритет развитию перевозок пассажиров автобусами большой и средней вместимости и троллейбусами.

В трех городах республики: в Бишкеке, Оше и Нарыне – работают троллейбусы. По сравнению с 2001 г. троллейбусные перевозки снизились на 26,9%. Троллейбусный парк г. Бишкека составляет 182 троллейбуса. В основном это машины российского производства марок ЗИУ, КТГ-2, Авангард – 110 машин и белорусского производства – 21 шт. (табл. 3). По мнению работников БТУ, наиболее удобными из имеющегося парка являются белорусские троллейбусы.

В настоящее время идет обновление парка троллейбусов города. В начале 2018 г. в Бишкек прибыла партия новых троллейбусов в количестве 5 единиц из России по проекту, финансируемому ЕБРР. Транспортные средства собраны на заводе российской компании «Тролза». К лету 2018 г. в столицу прибыло еще 47 новых машин, из России 32 машины и из Белоруссии 15 машин с предприятия. Стоимость каждого троллейбуса составляет 122 тыс. евро.

В перевозочном процессе состояние автотранспортных средств играет большое значение. От этого зависит быстрота доставки груза, себестоимость перевозок, затраты на содержание транспортного средства, а в условиях жесткой конкуренции – и рентабельность каждой транспортной организации, каждого перевозчика.

Начиная с 2000 г. парк автотранспортных средств КР значительно «постарел», а приток новых автомобилей в последние годы стал достаточно сложным.

На начало 2019 г. парк автотранспортных средств в КР составлял около 1,3 млн единиц, из них автотранспортных средств 1083400 единиц, автобусов и микроавтобусов 49700 ед., мототранспортных средств 11145 ед., прицепов – 34100 ед.. Рост количества транспортных средств с 2010 г. составил 715,2 тыс. автомашин, или 2,6 раза.

Анализ парка пассажирских автотранспортных средств республики по срокам нахождения в эксплуатации показывает прогрессирующее старение подвижного состава, значительная часть автомобилей находится на пределе выработки ресурса и требует обновления. Так, за последние 10 лет (2010–2019 гг.) доля пассажирского автотранспорта со сроком эксплуатации более 10 лет возросла с 29% до 47%.

Возрастная структура автобусов и микроавтобусов, осуществляющих перевозки, показывает, что пассажирские перевозки в республике не отвечают требованиям по безопасности, комфортабельности, конкурентоспособности, надежности и т.д. (рис. 4). Машины старше 10 лет составляют 96,7%.

Таблица 3

Количество троллейбусов в г. Бишкеке

№ п/п	Марка троллейбуса	Страна-изготовитель	Количество	Год вып.
1	ЗИУ-682 Г-018	Россия	30	2001
2	ЗИУ-682 Г-016		44	2013
3	КТГ-2		1	1989
4	Авангард		35	2013
5	АКСМ 321	Республика Беларусь	11	2009
6	АКСМ 32102		10	2009
7	Компания Тролза		37	2017
8	Завод Белкоммунмаш		15	2017
	Всего		182	

## Автобусы и микроавтобусы

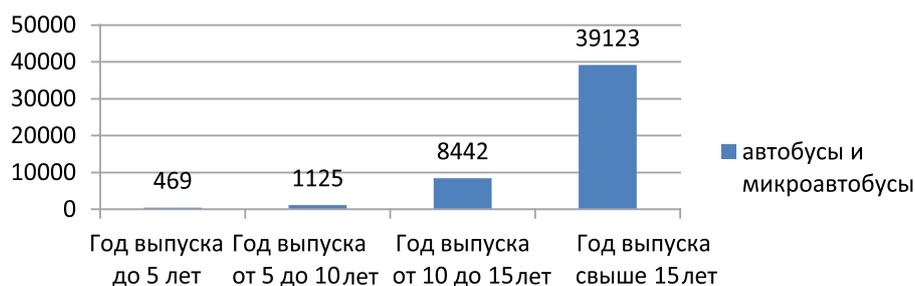


Рис. 4. Возрастная структура автобусов и микроавтобусов

Одной из главных предпосылок для обновления парка автотранспортных средств, используемых в международных перевозках, является создание благоприятных условий для перевозок как внутри страны, так и в пределах ЕАЭС и СНГ. Для обновления парка машин нужны финансовые средства, которые можно заработать только при условии нормального законодательства, разрешительной системы и увеличения объема международных перевозок.

Процесс обновления парка транспортных средств зависит от многих факторов, влияющих на оздоровление ситуации в транспортной отрасли. Основными вопросами здесь остаются вопросы сертификации и качества услуг.

Для развития автотранспортной отрасли КР на среднесрочную и долгосрочную перспективу возникает необходимость привлечения инвесторов, в том числе с применением механизма государственно-частного партнерства в целях повышения качества предоставляемых услуг по перевозке пассажиров автотранспортом (подвижной состав, придорожные станции отдыха, транспортно-логистические центры и т.д.).

Ситуация в сфере нормативной базы в области автомобильного транспорта находится в не лучшем положении. Со времени обретения независимости КР нормативные документы почти не обновлялись, а если обновлялись, то такая работа проводилась очень тяжело в связи с ограниченными возможностями уполномоченного органа на транспорте, связанными с недостатком высококвалифицированных кадров, исследовательской инфраструктуры и т.д.

### Заключение

Подводя итог проведенному анализу пассажирских перевозок в КР, можно наметить первостепенные задачи в области пассажирского транспорта:

1. Обновление пассажирского парка автобусами и троллейбусами большой вме-

стимости, полноприводными автобусами. Создание условий для приобретения в лизинг новых автобусов.

2. Обеспечение прозрачности работы перевозчиков на внутренних маршрутах, для обеспечения конкуренции среди разных категорий перевозчиков, в том числе легковых такси.

3. Устранение неравных условий конкуренции между автобусами (маршрутками), осуществляющими регулярные перевозки, и пассажирскими такси (минивэнами) при перевозке пассажиров путем введения упрощенного лицензирования.

4. Создание и организация деятельности логистической группы при Министерстве транспорта и дорог, занимающейся мониторингом и анализом.

5. Развитие международных перевозок и защита интересов отечественных перевозчиков при осуществлении международных перевозок пассажиров автотранспортом. Необходимо выявить причины наличия преград на пути отечественных перевозчиков по международным автомобильным коридорам и принять меры к их устранению.

### Список литературы

1. Кыргызстан в цифрах 2019. Бишкек: Национальный статистический комитет КР, 2020. С. 224–227.
2. Каримов Б.Б., Калилов С.К., Кожобергенов Ж.К. Горные дороги КР. М.: Интрансдорнаука, 2012. 336 с.
3. Приказ Министерства транспорта и дорог КР от 15 января 2020 года № 7 «Об утверждении Концепции развития автомобильного транспорта Кыргызской Республики на 2020–2024 годы». [Электронный ресурс]. URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/200412> (дата обращения: 22.03.2021).
4. Шатманов О.Т., Эсеналиев Т.Б., Дуйшебаев С.С. Особенности международных транспортных коридоров Кыргызской Республики. Инновации в науке СибАК № 6 (67). Новосибирск, 2017. С. 70–73.
5. Постановление Правительства КР от 23 сентября 2013 года № 519 «Об утверждении правил организации пассажирских перевозок автомобильным транспортом в Кыргызской Республике». [Электронный ресурс]. URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/94727?cl=ru-ru> (дата обращения: 22.03.2021).

## ОБЗОРЫ

УДК 691

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОРГАНИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ****Колосова А.С., Пикалов Е.С.***ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

В качестве теплоизоляционных применяют различные материалы и изделия с низким коэффициентом теплопроводности, который в большинстве случаев обеспечивается волокнистой или пористой структурой. При выборе материала учитываются физико-механические показатели, стойкость к внешним воздействиям различной природы (температура, вода, агрессивные вещества и т.д.), пожаробезопасность, экологичность и стоимость. В данной работе рассмотрены традиционные и перспективные теплоизоляционные материалы, в состав которых входят преимущественно органические вещества природного и синтетического происхождения. Приведены общая характеристика, разновидности, преимущества, недостатки и области применения утеплителей на основе измельченной древесины, древесной коры, различных видов травянистого сырья, синтетических полимеров, первичной и вторичной целлюлозы, торфа и материалов животного происхождения. Рассмотрены возможности применения перечисленных материалов для получения теплоизоляционных композиционных материалов и изделий на органических и неорганических связующих. Отдельно рассмотрены композиционные материалы, получаемые без дополнительного введения связующих, к которым относятся лигноуглеводные пластики, пьезотермопластики и подобные им материалы, а также углеродные материалы, получаемые в результате высокотемпературной обработки органической основы утеплителей. Представленная информация позволяет оценить разнообразие теплоизоляционных материалов на органической основе, преимущества и недостатки их применения для строительной и технической теплоизоляции.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, измельченная древесина, древесные плиты, органические бетоны, древесная кора, лигноуглеводные пластики, пьезотермопластики, газонаполненные полимеры

**MODERN EFFECTIVE THERMAL INSULATION MATERIALS ON ORGANIC BASE****Kolosova A.S., Pikalov E.S.***Vladimir State University of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

As thermal insulation, various materials and products with a low coefficient of thermal conductivity are used, which in most cases is provided by a fibrous or porous structure. When choosing a material, physical and mechanical characteristics, resistance to external influences of various nature (temperature, water, aggressive substances, etc.), fire safety, environmental friendliness and cost are taken into account. In this paper, we consider traditional and promising thermal insulation materials, which consist mainly of organic substances of natural and synthetic origin. The general characteristics, varieties, advantages, disadvantages and applications of insulation materials based on crushed wood, tree bark, various types of herbaceous raw materials, synthetic polymers, primary and secondary cellulose, peat and materials of animal origin are given. The possibilities of using these materials for the production of heat-insulating composite materials and products based on organic and inorganic binders are considered. Considered separately composite materials derived without additional binders, which include lignin-carbohydrate plastic, piezothermoplastic and similar materials, and carbon materials obtained by high temperature treatment of organic basis. The presented information allows us to evaluate the variety of thermal insulation materials on an organic basis, the advantages and disadvantages of their use for construction and technical thermal insulation.

**Keywords:** heat insulating materials, crushed wood, wood-based boards, organic-filled concrete, tree bark, lignin-carbohydrate plastic, piezothermoplastic, gas-filled polymer materials

Теплоизоляционные материалы являются одной из самых распространенных групп материалов и применяются для изготовления строительных конструкций, оборудования и трубопроводов совместно с конструкционными материалами, воспринимающими возникающие в процессе эксплуатации нагрузки за счет высокой прочности, и облицовочными материалами, защищающими теплоизоляционные и конструкционные материалы от внешних воздействий за счет стойкости к действию

различных факторов (механических воздействий, агрессивных химических веществ, ультрафиолета и т.д.). В свою очередь, теплоизоляционные материалы за счет низкого коэффициента теплопроводности обеспечивают комфортный температурный режим, энергоэффективность зданий и технологических процессов при использовании в строительной и технической разновидности теплоизоляции, а также при теплоизоляции транспортных средств: автомобилей, судов, самолетов и т.д.

В качестве теплоизоляционных применяются различные материалы и вещества, которые отличаются друг от друга не только коэффициентами теплопроводности, но также составом, структурой, стоимостью и такими свойствами, как прочность, плотность, водопоглощение, термостойкость, биологическая и химическая стойкости, долговечность, экологичность, пожаробезопасность и т.д. Наиболее общая классификация различает неорганические теплоизоляционные материалы, рассмотренные авторами ранее [1], и органические теплоизоляционные материалы.

Цель данной работы заключается в характеристике современных материалов, которые применяются для тепловой изоляции и состоят целиком или преимущественно из органических компонентов, в рассмотрении их особенностей, преимуществ и недостатков.

#### *Теплоизоляция на основе древесного сырья*

К древесным (деревянистым) растениям относятся деревья, кустарники и многолетние растения, у которых внутренние части ствола, ветвей и корневой системы образуют древесину в результате одревеснения растительных клеток за счет содержания в них большого количества лигнина, представляющего собой трехмерный фенольный полимер. В свою очередь, наружные части данных растений образуют древесную кору в результате опробковения при отмирании за счет содержания в них большого количества суберина, представляющего собой глицерид феллоновой кислоты. Для древесины и древесной коры характерны распространенность в природе, экологичность, химическая стойкость, легкость механической обработки, а древесина также характеризуется относительно высокими значениями прочности на сжатие и изгиб, однако в то же время для этих материалов характерны горючесть, анизотропия свойств и низкие значения влагостойкости, атмосферостойкости и биостойкости [2]. За счет волокнисто-пористой структуры древесины и полостей внутри отмерших клеток древесной коры данные материалы характеризуются легкостью, высокими тепло- и звукоизоляционными характеристиками при высоких значениях водопоглощения и гигроскопичности [2, 3]. Для теплоизоляции применяют измельченные древесину и древесную кору в виде щепы, стружки, опилок и древесной пыли, которые образуются в процессе рубки, колки, пиления, резания, шлифования и другой обработки древесного сырья. Перечисленные процессы применяют при лесозаготовке, лесопилении, дерево-

обработке, а также для очистной, санитарной и других видов рубки, при измельчении крупнокусковых древесных отходов, пнекорневой древесины и т.д. При специальной переработке древесины также получают древесную шерсть, представляющую собой частицы толщиной 0,3–0,5 мм и длиной 200–530 мм, и древесные волокна (древесная целлюлоза, древесная эковата).

Щепа, стружка и опилки могут применяться в качестве насыпной теплоизоляции, для устройства которой к ним добавляют антисептики и антипирены, обеспечивают паро- и гидроизоляцию слоя утеплителя. Древесная вата может применяться в качестве задувной (надувной) теплоизоляции. Насыпная и задувная теплоизоляции характеризуются низкой теплопроводностью (0,06–0,095 Вт/(м·°C)), легкостью и низкой стоимостью, а к недостаткам относятся все характерные для древесины и коры недостатки, а также слеживание и уплотнение со временем, невозможность применения в контакте с сильно нагревающимися поверхностями и влажной атмосферой, привлекательность для грызунов и насекомых.

Измельченные древесина и кора также широко применяются как наполнители для получения композиционных материалов, в которых комбинируют преимущества наполнителей и связующих для получения высококачественных эксплуатационных показателей материалов и изделий. При высоком содержании связующих получают энергоэффективные конструкционные материалы, при более низком количестве связующих – конструкционно-теплоизоляционные, теплоизоляционно-отделочные и теплоизоляционные материалы и изделия. В качестве неорганических связующих для измельченной древесины наиболее широко применяют цемент, глину, известковые, гипсовые и магнезиальные вяжущие, смеси цемента с гипсом или известью. При добавлении небольшого количества данных связующих получают насыпную теплоизоляцию с уменьшенной усадкой, теплые штукатурки и теплые стяжки, а при добавлении связующего в количестве 50% и более получают монолитные конструкции, блоки и плиты из органобетонов, в том числе арболита, на основе цемента, глинобетонов, ксилолитов на основе магнезиального вяжущего, гипсо-опилочные и гипсо-стружечные бетоны [3]. Для измельченной коры в качестве связующих используют гипс и быстротвердеющий цемент с получением королитов или обычный цемент с получением коробетонов. Получаемые конструкции и изделия отличаются сравнительно высокой прочностью, морозостойкостью и плотностью,

воздухо- и паропроницаемостью, высоким водопоглощением, средними величинами тепло- и звукоизоляции, низкими значениями водостойкости и точности геометрии.

В качестве органических связующих наиболее широко применяют карбамидоформальдегидные, фенолоформальдегидные, меламиноформальдегидные, фурановые и изоцианатные смолы, на основе которых с добавлением гидрофобизаторов, антисептиков и антипиренов получают древесные плиты, которые в зависимости от вида древесного наполнителя подразделяют на древесностружечные (ДСтП), древесноволокнистые (ДВП) и др. [3, 4]. Для древесных плит характерны хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства при средних значениях прочности, ударной вязкости, водопоглощения, биостойкости и гигроскопичности, средняя горючесть, способность к глению и наличие токсичных соединений в составе связующих. Карбоксиметилцеллюлоза в смеси с антипиреном и антисептиком применяется для получения опилочных гранул, применяемых для насыпной теплоизоляции, не дающей усадки, с повышенной биостойкостью и пониженной горючестью. Существуют разработки по получению теплоизоляционно-отделочных древесных плит на основе полистирола, которые получают путем растворения отходов пенополистирола в метилхлориде, прессованием сырьевой смеси с последующей термообработкой изделий для удаления растворителя, конденсацией паров растворителя и его повторным использованием [5, 6]. На основе 15–50 % термопластичных связующих (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, акрилонитрилбутадиенстирол и полиамиды) и древесной муки могут быть получены древесно-полимерные композиты (ДПК) с высокой пластичностью сырьевой смеси, легкостью, водостойкостью, атмосферостойкостью, биостойкостью, низким водопоглощением, легкостью механической обработки, сравнительно высокой прочностью и хорошими теплоизоляционными свойствами изделий [7]. ДПК в настоящее время применяются в производстве корпусной мебели, дверных и оконных блоков, подоконников, террасных досок и сайдинга, однако проводятся исследования по возможности их применения и для теплоизоляции [5, 8]. Из измельченной коры с добавлением реактопластов, вторичного полиэтилена или водного экстракта из коры получают коропласты и древесно-корьевые плиты (ДКП) [4, 9, 10]. ДКП и другие изделия, получаемые с использованием древесной коры, отличаются высокими звуко- и теплоизоляцион-

ными свойствами, однако у них небольшая прочность и высокое водопоглощение, поэтому они применяются только для теплоизоляции и внутренней отделки.

В отдельную группу выделяют утеплители, получаемые на основе коры пробкового дуба: пробковые гранулы из отходов производства бутылочных пробок для насыпной теплоизоляции, теплоизоляционно-отделочного изделия из белого (чистого) агломерата в виде спрессованных пробковых гранул с добавлением связующего (органических клеев, желатина и др.) и пробкового шпона, а также теплые подложки из пробковых гранул на битумной или резиновой основах. Данные материалы отличаются легкостью, прочностью, эластичностью, упругостью, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, химической инертностью, водо- и биостойкостью, простотой монтажа, но для них характерны высокая стоимость, остаточные деформации при продолжительном и сильном давлении, отсутствие виброизоляции.

#### *Теплоизоляция на основе травянистого сырья*

Травянистые растения в отличие от древесных растений имеют не одревесневшие (возможно частичное одревеснение или одревеснение при созревании) побеги, которые по завершению вегетационного периода полностью отмирают (однолетние растения) или отмирают только их надземные части (двухлетние и многолетние растения). Отсутствие одревеснения побегов объясняется меньшим по сравнению с древесными растениями количеством лигнина, что также является причиной меньшей прочности и жесткости побегов. Для травянистого сырья, как правило, характерны низкие показатели биостойкости и водостойкости, высокая горючесть и привлекательность для насекомых. В то же время побеги травянистых растений являются широко распространенным и ежегодно возобновляемым сырьем низкой стоимости, обладают волокнисто-пористым строением и могут образовывать теплоизоляционный слой волокнистого строения. Для теплоизоляции в большинстве случаев используются следующие виды сырья на основе травянистых растений:

– Солома, которая является сельскохозяйственным отходом и представляет собой сухие стебли злаковых и бобовых зерновых культур, остающиеся после обмолота, а также стебли льна, конопли, джута, кенафа и др., освобожденные от листьев, соцветий и семян.

– Сено, которое представляет собой высушенные стебли и листья травянистых рас-

тений, скошенных в зеленом виде до достижения ими полной естественной зрелости.

– Костра, которая является отходом процесса получения лубяных волокон при первичной обработке прядильных растений (лен, конопля, кенаф и др.) и представляет собой одревесневшие части стеблей.

– Пакля, которая также является отходом процесса получения лубяных волокон при первичной обработке прядильных растений и представляет собой грубое, короткое и спутанное волокно, загрязненное кострой.

– Лубяные волокна (льняные, джутовые и др.), являющиеся разновидностью целлюлозных волокон и получаемые в результате биологической (мочка) и механической (мятье, трепание, выделение луба) обработки соломы. Грубое лубяное волокно, получаемое из технической конопли, называют пенькой.

– Семенные волокна, развивающиеся из семян и покрывающие семена внутри стручков (хлопковые, капокские) или развивающиеся из шелухи внутри внешней оболочки кокосовых орехов (кокосовые).

– Лузга (шелуха), которая представляет собой отходы шелушения пшеницы, овса, гречихи, риса и других зерновых культур, подсолнечника и некоторых других растений.

К особым разновидностям теплоизоляционных материалов на основе травянистого сырья относятся сухие и зрелые стебли камыша, тростника и рогоза, которые выкашивают в осенне-зимний период, а также сухую морскую траву и подсушенный мох (мох-сфагнум, кукушкин лен). Стоит отметить, что преимуществами морской травы являются низкая горючесть за счет высокого содержания кремния и непривлекательность для грызунов и насекомых за счет содержания солей кальция и магния, а преимуществом мха является наличие природных антисептических веществ.

Солома, стебли камыша, тростника и рогоза за счет полой структуры отличаются легкостью и высокими теплоизоляционными свойствами. Для получения теплоизоляционных изделий их цельные стебли спрессовывают в соломитовые (соломенные) и камышитовые плиты (маты или щиты, которые в зависимости от расположения стеблей бывают продольными и поперечными) или блоки, а затем прошивают полипропиленовыми или полиамидными шнурами или оцинкованной проволокой. Для получения соломита и камышита также применяют запрессовывание стеблей в деревянные каркасы. Для защиты от внешних воздействий и повышения эстетических свойств на соломитовые плиты могут до-

полнительно пришиваться полотна из различных материалов (льна, войлока и др.), иногда их облицовывают декоративной бумагой или ламелями или наносят глиняное, известковое, глиняно-известковое или глиняно-цементное покрытие. Для повышения биостойкости соломит и камышит обрабатывают железным или медным купоросом и др. антисептиками. Соломит и камышит применяются для теплоизоляции или для возведения стен и перегородок при каркасном и бескаркасном (стены выкладывают из соломенных блоков, которые скрепляют вертикальными деревянными кольями, металлическими или пластиковыми штангами, цементом или глинобетонном) строительстве малоэтажных зданий. Разновидностью камышита являются камышито-пенополиуретановые панели, представляющие собой деревянный каркас, заполненный камышитом и под большим давлением залитый жестким пенополиуретаном, что позволяет объединить преимущества двух видов утеплителя и использовать данные панели в качестве конструкционно-теплоизоляционных.

Из льняной пакли и других отходов производства льняного волокна (отрепьев, очесов и т.д.), прошедших дополнительную механическую и химическую обработку, после раскладывания между двумя полосами водонепроницаемой бумаги и прошивки пряжей получают шевелин, представляющий собой рулонный материал для утепления стен и перекрытий. Сухую морскую траву плотно набивают в сетки из полиамидной нити с ячейками различной величины с получением сетчатых теплоизоляционных матов.

Сечку (мелко нарезанные и рубленые солому, сено, стебли камыша, тростника и рогоза), костру, лузгу и сухую морскую траву применяют в качестве засыпной теплоизоляции или в качестве наполнителя для получения следующих композиционных материалов:

– Органобетоны на цементных, известковых, гипсовых и магнезиальных вяжущих, в которых в качестве наполнителей отдельно или в смеси с измельченной древесиной применяют сечку, костру и лузгу с получением соломобетонов, костробетонов, лузгобетонов, камышебетонов и др. В ряде случаев для группы данных материалов применяют термины «арболит» и «ксилолит», однако, по мнению авторов данной статьи, эти термины больше подходят для материалов, полученных на основе измельченной древесины, так как термины происходят от фр. *arbre* – дерево и от греч. *xýlon* – срубленное дерево.

– Глиняно-соломенные (соломенно-глиняные) материалы, свойства и область применения которых зависят от соотношения глины и соломы в их составе. В качестве энергоэффективного конструкционного материала для производства блоков и кирпичей применяется тяжелый саман (глинобетон), в котором содержание соломенной сечки составляет около 20%. Для повышения прочности в тяжелый саман также добавляют песок. Из 80% ржаной соломенной сечки путем ее пропитки глиняным раствором получают легкий саман для теплоизоляции, в котором стебли покрыты слоем глины, являющейся связующим и защитным покрытием от огня и гниения. При содержании соломенной сечки от 60 до 90% получают теплую глиняную штукатурку, в которую также добавляют песок. Наряду с соломенной сечкой для наполнения глины применяют костру, сечку из сена и камыша.

– Костроэмульбит ( $\lambda = 0,067 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ), получаемый из смеси костры льна, битумной эмульсии и технического лигносульфоната, который является эмульгатором и огнезащитным компонентом. Для повышения теплостойкости в состав также вводят перлитовый или керамзитовый песок. Плиты из данного материала применяют для теплоизоляции кровель и в качестве среднего слоя стеновых панелей в зданиях сельскохозяйственного назначения.

– Риплит ( $\lambda = 0,14\text{--}0,19 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ), представляющий собой вспененное полимерное связующее, наполненное рисовой соломой, и выпускаемый в виде плит для утепления кровли или в качестве заливочной композиции для производства трехслойных панелей [11].

– Жидкостекольная теплоизоляция, в которой наполнителями являются соломенная сечка (преимущественно ржаная), костра (например, льняная) или отходы переработки солодкового корня (шрот). Одним из названий для материала, состоящего из соломенной сечки и жидкого стекла, является солومات. Жидкостекольные материалы могут применяться в производстве теплоизоляционных плит с теплопроводностью  $0,046\text{--}0,062 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$  [12, 13].

Наряду с перечисленными связующими для получения теплоизоляционных плит из соломенной сечки могут применяться полиизоцианаты и карбаминоформальдегидные смолы, в том числе в смеси с жидким стеклом и возможностью вспенивания гибридного связующего [13]. Солома и рисовая шелуха, измельченные в муку, могут применяться в качестве наполнителей для получения композиционных материалов, являющихся альтернативой для ДПК.

Теплоизоляцию из лубяных и семенных волокон выпускают или из отдельных их видов (льняные утеплители, хлопковые утеплители и т.д.), или из смеси разных волокон (наиболее часто применяют смесь льна и джута). Для повышения огнестойкости их обрабатывают антипиренами. Данную группу утеплителей выпускают в виде рулонных матов (полотен), лент, плит и блоков. Маты и ленты подразделяют на тканые, к которым относятся иглопрошивные маты (иглопрошивной ватин), получаемые в результате прошивки слоя волокон полиамидной или хлопковой нитью, и нетканые: иглопробивные, получаемые в результате перепутывания волокон при возвратно-поступательном движении специальных игл (войлок, иглопробивной ватин), и термоскрепленные, получаемые при добавлении в состав 10–15% полиэфирных волокон, которые скрепляются между собой при плавлении наружных слоев во время нагрева (бикомпонентное волокно). Иглопробивные и иглопрошивные материалы известны под торговыми названиями евролён, евроджут и т.д., а термоскрепленные материалы называют термохлопок, термолён, термоджут, лёнизол, джутизол и т.д. Блоки и плиты получают термоскреплением или при использовании крахмала в качестве связующего. Ленты применяют для местной теплоизоляции (заделке щелей и конопатки швов в строительных конструкциях), а маты, плиты и блоки применяют для теплоизоляции крыш, стен и перекрытий. Кроме того, вату из лубяных и семенных волокон и материалы на ее основе применяют в качестве утеплителя одежды.

Из сухой морской травы выпускают плиты (известны под торговыми названиями фитоизол и «КамкаС»,  $\lambda = 0,067 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ), которые по аналогии с изделиями из лубяных волокон получают термоскреплением при использовании 15% полиэфирных волокон или за счет применения органического силикона или казеинового клея в качестве связующего.

Паклю применяют как местный утеплитель для заделки щелей, конопатки оконных и дверных коробок, стен из бревен. Подсушенный мох применяют в качестве насыпной теплоизоляции в частном и индивидуальном строительстве, а также в качестве альтернативы пакле.

*Теплоизоляция на лигноуглеводных связующих*

Особую группу органических теплоизоляционных материалов и изделий на основе растительного сырья составляют утеплители, которые получают за счет содержащихся в древесных и травянистых

растениях лигнина и полисахаридов, составляющих лигноуглеводный комплекс, без введения дополнительных связующих веществ. Получение материалов на лигноуглеводных связующих основано на том, что под действием температуры и давления при определенной влажности растительных волокон происходит деструкция лигноуглеводного комплекса в результате размягчения и частичной деполимеризации лигнина и частичного гидролиза полисахаридов, преимущественно гемицеллюлозы. Затем происходит поликонденсация с образованием новых лигноуглеводных комплексов, которые выступают связующим для целлюлозных волокон. Органические кислоты, образующиеся при разложении лигноуглеводного комплекса, и смоляные кислоты, содержащиеся в древесине, выступают катализаторами разложения лигноуглеводного комплекса.

Свойства материалов на лигноуглеводном связующем зависят от содержания лигнина и степени трансформации лигноуглеводного комплекса, которая в свою очередь определяется величинами давления и температуры. В наибольшем количестве лигнин содержится в древесине хвойных деревьев (23–50%), несколько меньше его в древесине лиственных деревьев (14–24%) и древесной коре (22–27%), а наименьшее содержание лигнина характерно для соломы злаков (12–20%). При этом у основания растения лигнина обычно содержится меньше, чем в средней и верхней частях побега. Давление в данном случае прикладывается для уплотнения и сближения целлюлозных волокон, для заполнения пространства между ними и клеточных стенок продуктами трансформации лигноуглеводного комплекса, что обеспечивает склеивание целлюлозных волокон, а повышенная температура ускоряет протекающие процессы и наряду с длительностью обработки обеспечивает более высокую степень трансформации с получением высокомолекулярных веществ с большим количеством сшивок, что обеспечивает нерастворимость, прочность и гидрофобность получаемого материала [14].

Наиболее распространенными изделиями данной группы материалов являются мягкие древесноволокнистые плиты (МДВП, древесноволокнистые маты), получаемые на основе древесной ваты хвойного пород деревьев или смеси из древесного волокна хвойных и лиственных пород с добавлением парафина для снижения водопоглощения. МДВП получают при помощи отлива водной эмульсии древесной ваты на сетку отливной машины с последующи-

ми сушкой полученного полотна (ковра) при температуре 130–160°C и распилом на плиты. Для повышения прочности возможна подпрессовка полотна. Степень деструкции и трансформации лигноуглеводного комплекса в данном случае невелика, и скрепление древесных волокон происходит преимущественно за счет размягчения лигнина [3]. Следует отметить, что МДВП с торговыми названиями GUTEX и Steiko могут быть получены сухим способом, но в качестве связующих в них применяют 4% полиуретановой смолы. МДВП применяются для строительной теплоизоляции, отличаются высокими значениями тепло-, звукоизоляции и водопоглощения, легкостью и эластичностью.

Другими материалами данной группы являются лигноуглеводные (реже их называют лигноуглеводородными) пластики, в том числе лигноуглеводные древесные пластики (ЛУДП), которые образуются при использовании лигноцеллюлозных частиц размером не более 0,5 мм, из которых формируют полотно с его последующими холодной подпрессовкой при давлении 1–1,5 МПа, горячим прессованием при давлении 1,5–5 МПа и температуре 160–180°C. В отличие от МДВП, при производстве данных материалов происходит более полная трансформация лигноуглеводного комплекса, а за счет прессования достигается уплотнение изделий, которое повышает их физико-механические характеристики, однако у данных материалов ниже теплоизоляционные характеристики. Данные материалы выпускают в виде плит и изделий различной конфигурации [11]. К материалам на лигноуглеводных связующих также относятся пьезотермопластики (ПТП, лигнопласт, термодин), которые получают из измельченного растительного сырья в результате холодной подпрессовки полотна при давлении 2–2,5 МПа с последующим горячим прессованием при давлении 20–30 МПа и температуре 140–225°C или в результате предварительного гидролиза (предгидролиз) измельченной древесины с размером частиц не более 4 мм при давлении 0,8–1 МПа и температуре 170–180°C с последующими холодным прессованием при давлении 15 МПа и горячим прессованием при аналогичном давлении и температуре 160°C. Предгидролиз проводится горячей водой или водяным паром, в том числе с добавлением минеральных кислот в качестве катализаторов. Для получения ПТП также может проводиться предварительная обработка путем желатинирования хлором, аммиаком, серной кислотой и др. или поликонденсацией с участием фурфурола, фенола, фор-

мальдегида, ацетона, щелочного или гидролизного лигнина и др. [15]. За счет высоких значений давления и температуры (название ПТП происходит от греч. *piezō* – давить и *therme* – тепло) при получении ПТП происходит глубокая деструкция и практически полная трансформация лигноуглеводного комплекса. В результате ПТП отличаются прочностью, сравнительно высокой плотностью и применяются для производства полов, дверей, отделочных и теплоизоляционных плит [11]. Для получения лигноуглеводных пластиков и ПТП могут использоваться древесина и кора хвойных и лиственных пород, льняная и конопляная костра, камыш, солома, стебли хлопчатника, льняные волокна, рисовая шелуха, макулатура, гидролизный лигнин и другое лигноцеллюлозное первичное и вторичное сырье.

К наиболее распространенным ЛУДП и ПТП относятся:

– LDF (Low Density Fiberboard, ЛДФ или низкоплотная ДВП), представляющий собой плитный материал, получаемый из древесных волокон сосен и эвкалиптов при высоких температуре и давлении. Применяется для производства мебели, элементов декора и отделочно-теплоизоляционных настенных панелей. Стоит отметить, что в начале XX в. в США выпускали тепло- и звукоизоляционные разновидности плит LDF и мазонита (*masonite*), который представляет собой ДВП высокой плотности на лигноуглеводном связующем.

– Вибролит, получаемый в результате тонкого измельчения древесины на вибромельнице, перемешивания массы с водой для получения шлама, перемешивания шлама с древесными частицами размером 0,5–2 мм и формированием из смеси полотна, которое обезвоживается, проходит холодную подпрессовку при давлении 0,8–1,2 МПа, горячее прессование при давлении 1,47–1,96 МПа и температуре 180–200 °С. Плиты подвергают закалке при температуре 120–160 °С для снижения водопоглощения и разбухания. Вибролит применяется в качестве конструкционно-отделочного и теплоизоляционного материала для настила черновых полов, устройства перегородок, в производстве дверей и стеновых панелей [16].

– Плиты из цельной коры, для получения которых с подсушенных для лесосплава стволов ели, пихты или лиственницы при помощи специальных инструментов снимаются листы коры. С листов удаляют все неровности (наплывы, остатки сучков и др.), шпаклюют и прессуют в плиты из 20 и более листов сначала на холодном прессе, а затем на горячем. При собира-

нии листов в пакет их укладывают попарно гладкой стороной друг к другу, при необходимости для улучшения склеивания добавляют разогретый битум, а поверхность офактуривают густым известковым раствором. Плиты из цельной коры применяют в качестве теплоизоляционно-отделочных для обшивки стен, перегородок и для обустройства кровли [16].

– Черный пробковый агломерат (экспанзит) в отличие от белого агломерата получают из пробковой крошки с высокой влажностью в результате прессования при температуре 250–400 °С. Связующим в составе экспанзита одновременно являются лигнин, и суберин [3], а в процессе производства происходит частичное обугливание пробковых гранул, что придает материалу черный цвет, и увеличение материала в объеме до 30 % за счет расширения паров воды и воздуха в порах пробки. Плиты из экспанзита применяются в строительной теплоизоляции, отличаются легкостью, высокими теплоизоляционными свойствами, пониженными величинами водопоглощения, гигроскопичности и горючести.

– Страмит (*stramit*, CAFboard или Compressed Agricultural Fiber Board), который представляет собой плитный материал, получаемый путем прессования соломы пшеницы, риса, овса, ячменя и ржи при высоких температуре и давлении. Поверхности плит при помощи жидкого натриевого стекла оклеивают крафт-бумагой, которую в ряде случаев пропитывают каменноугольным дегтем. Страмит отличается высокими звуко- и теплоизоляционными свойствами, относительно высокими значениями прочности и биостойкости. Страмит применяют в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала при создании перегородок и навесных потолков, теплоизоляционного слоя при деревянном каркасном строительстве и как средний слой в панельных системах из вторичной стали CAFquiet.

– Ортенкс, получаемый на основе костры льна и фосфогипса и представляющий собой теплоизоляционный материал с гибридным органоминеральным вяжущим. Гибридное вяжущее получают путем совместного помола фосфогипса и костры льна, при котором кислая среда фосфогипса способствует гидролизу гемицеллюлозы и интенсифицирует процессы деструкции лигнина и лигноуглеводного комплекса. При этом костра льна входит как в состав вяжущего, так и является наполнителем. Плиты выпускают путем распыления вяжущего на поверхность частиц наполнителя с последующим прессованием при просасывании через изделие горячего воздуха [11].

Ортенкс отличается средними для теплоизоляционных материалов значениями плотности, прочности и теплопроводности.

Недостатком лигноуглеводных пластиков и ПТП является длительность воздействия высоких значений давления и температуры для глубокой трансформации лигноуглеводного комплекса. В качестве альтернативного варианта деструкции лигноуглеводного комплекса возможно использование дереворазрушающих грибов (ксилотрофов), которые вырабатывают гидролитические и окислительные ферменты [17].

К теплоизоляционным материалам на лигноуглеводных связующих также можно отнести ДКП, в которых связующими являются концентраты лигносульфонатов, и лигноволоконистые плиты, которые наряду с измельченной древесиной, бумажной макулатурой или ткацкими отходами содержат до 50% гидролизного лигнина.

Новым материалом на лигноуглеводном связующем является пенодревесина (древесная пена), получаемая из тонкоразмолотой до гелеобразного состояния древесины, которую перемешивают с катализатором отверждения, а затем добавляют специальный газ, формируют и высушивают полученную пенистую структуру. Пенодревесина отличается жесткостью, легкостью, влагостойкостью и теплоизоляционными свойствами, является альтернативой пенопластам и может применяться в производстве жестких плит и гибких матов для звуко- и теплоизоляции, а также в качестве упаковочного материала.

#### *Полимерная теплоизоляция*

Самыми распространенными материалами в данной группе и среди всех утеплителей на сегодняшний день являются газонаполненные полимерные материалы, структура которых состоит из повторяющихся в определенной последовательности газовых ячеек, ограниченных полимерными стенками, ребрами и называемых газоструктурными элементами (ГСЭ). Газонаполненные полимерные материалы могут быть получены на основе термопластов и реактопластов, пластмасс и эластомеров, а в зависимости от типа ГСЭ они подразделяются на ячеистые пенопласты (пенополимеры), состоящие преимущественно из изолированных ГСЭ, поропласты (порополимеры), структура которых представлена в основном взаимосвязанными между собой и окружающей средой ячейками, синтактных пенопластов, представляющих собой наполненные микросферами из различных материалов полимерные

связующие, сотопластов, представляющих собой каркасные структуры из различных материалов в виде открытых с обоих торцов ячеек, которые пропитывают реактопластами, поропласты с капиллярными ГСЭ в структуре материала из полимерных волокон, а также пенопласты со смешанной структурой. Все газонаполненные полимеры отличаются высокими звуко- и теплоизоляционными свойствами, легкостью, сравнительно высокой химической стойкостью и биостойкостью, однако для них характерны невысокая термостойкость и явление старения полимерных связующих под действием окружающей среды. Данные материалы подробно рассмотрены авторами данной работы ранее [18] и применяются для строительной и технической теплоизоляции, в том числе в составе многослойных конструкционных и облицовочных изделий [2, 19]: сэндвич-панелей, термopanелей, термобруса, теплоблоков и др.

К полимерной теплоизоляции также можно отнести композиционные материалы на неорганических связующих, в которых гранулы пенополистирола применяются в качестве наполнителя: полистиролбетон (стиропорбетон) и неопорбетон (заполнителем является стиропор с частицами графита) на основе цементных и цементно-известковых вяжущих, теплая штукатурка на основе цементных, известковых и гипсовых вяжущих. Существуют разработки по получению полистиролбетона на основе магнезиальных и гипсовых вяжущих [20, 21]. Наличие гранул пенополистирола приводит к повышению звуко- и теплоизоляционных свойств, снижает водопоглощение и прочность, приводит к выделению токсичных продуктов при пожаре и возможности выгорания наполнителя. Полистиролбетоны применяются в качестве тепло- и звукоизоляционного материала строительных конструкций, а также для возведения несущих и ограждающих конструкций в малоэтажном строительстве.

Распространенными на сегодняшний день являются теплоизоляционные (энергосберегающие) краски, называемые также термолкрасками и жидкой теплоизоляцией, которые представляют собой водно-акриловые или силиконовые смеси, наполненные керамическими микросферами или микросферами из других материалов (силиконовые, стеклянные и т.д.). Для повышения водостойкости и эластичности в акриловые термолкраски добавляют бутадиен-стирольный латекс или силикон, для повышения звуко- и теплоизоляционных свойств в термолкраски добавляют перлит, для увеличения прочности – стекловолокно или пеностек-

ло, для повышения прочности и износостойкости – кварцевый песок, а в качестве белил используют оксиды титана и цинка. Термокраски отличаются водостойкостью, прочностью, химической стойкостью, биостойкостью, износостойкостью, хорошими тепло-, гидро- и пароизоляционными свойствами, удобством нанесения (вручную или напылением) на поверхность любой конфигурации при малой толщине покрытия. Недостатками термокрасок являются высокая стоимость и неэффективность при малой разнице температур между утепляемой поверхностью и окружающей средой. Энергосберегающие краски применяются преимущественно для технической теплоизоляции, но находят применение и в строительстве.

Другими композиционными полимерными утеплителями являются теплоизоляционные полимербетоны, в которых связующими являются эпоксидные, фурановые, карбамидоформальдегидные фенолформальдегидные или полиэфирные смолы в количестве до 10%, а в качестве наполнителей применяются измельченная древесина (стружка, пробка), перлит или гранулы пенополистирола. Эти материалы в зависимости от количества наполнителя отличаются сравнительно высокой прочностью, морозостойкостью, абразивостойкостью и химической стойкостью при низких значениях теплопроводности и водопоглощения, а применяются для внутренних ограждающих конструкций [2]. Существуют разработки по получению строительного теплоизоляционного плитного материала, содержащего до 55% золы уноса теплоэлектростанций, на модифицированном фенолформальдегидном связующем [22].

#### *Прочая органическая теплоизоляция*

Одним из достаточно распространенных видов насыпной и задувной органической теплоизоляции является целлюлозная эковата, получаемая из отходов картонно-бумажной промышленности (остатки и брак от производства гофротары, картонной продукции и печатных изданий) и макулатуры в результате измельчения с последующим сухим роспуском на вторичные целлюлозные волокна. Для получения эковаты к 80% вторичных волокон добавляют 12% борной кислоты в качестве антисептика и до 8% тетрабората натрия в качестве антипирена. Целлюлозная эковата отличается высокими звуко- и теплоизоляционными свойствами, легкостью и низкой стоимостью, но для нее характерны высокое водопоглощение, горючесть, способность к тлению при контакте с сильно нагретыми поверхностями,

оседание со временем, и эту эковату невозможно применять для бескаркасной самостоятельной теплоизоляции. Сходными свойствами и областью применения обладают нейлоновая вата, получаемая при переработке вторичного текстиля от утилизации автомобильных шин, и техническая вата, получаемая при переработке текстильных отходов производства и потребления. Волокна из текстильных отходов также применяют для получения пакли и в качестве наполнителей на основе полимерных связующих и цементных вяжущих для производства блоков и плит строительного назначения с низкой теплопроводностью.

К теплоизоляции на основе лигноцеллюлозы, в основном древесной целлюлозы, относится группа материалов, объединяемых под общим термином «наноцеллюлоза» [23]:

– Нанокристаллическая целлюлоза в виде стержнеобразных нитевидных кристаллов диаметром 2–50 нм и длиной 50–1160 нм со степенью кристалличности 54–88%. Нанокристаллы целлюлозы выделяют в результате кислотного гидролиза аморфной составляющей целлюлозных волокон.

– Нановолокна целлюлозы в виде нановолокон диаметром 5–20 нм и длиной до нескольких мкм, которые проявляют свойства псевдопластичного геля. Нановолокна получают при высокой скорости измельчения, больших температуре и давлении, а также в результате измельчения ультразвуком, кавитационно-гидродинамическим и др. методами.

– Бактериальная наноцеллюлоза, получаемая из низкомолекулярных полисахаридов, которые образуются при ферментации исходной целлюлозы бактериями в результате экстракции органическими растворителями.

Разновидности наноцеллюлозы применяются в производстве полимерных композиционных материалов, в том числе покрытий, а также для получения целлюлозных аэрогелей и пен в результате химической сшивки. Например, теплоизоляционная целлюлозная пена ( $\lambda = 0,027$  Вт/(м·°C)) может быть получена при обработке древесины концентрированной кислотой в присутствии поливинилового спирта и сшивающего агента (1,2,3,4-бутантетракарбоксылной кислоты) с последующей лиофилизацией [24]. По сути, разновидностью наноцеллюлозы является материал, названный разработчиками нанодревесиной и получаемый из заготовки с продольным расположением древесных волокон в три этапа: кипячением в смеси гидроксида и сульфида натрия, удалением лигнина и большей части гемицеллюлозы при помощи пероксида водорода с сохране-

нием структуры расположения волокон и лиофилизации [25]. Волокна нанодревесины упаковываются глюконовыми цепями, удерживаются при помощи межмолекулярных водородных связей и ван-дер-ваальсовых сил. Полученный материал отличается пористостью около 91%, способностью отражать 95% солнечной тепловой энергии и анизотропностью свойств – поперек волокон прочность и теплоизоляционные свойства существенно выше, а тепло может распространяться вдоль волокон, что исключает нагрев материала. Наноцеллюлозные материалы и изделия на их основе отличаются высокими значениями прочности, легкости, гибкости, теплоизоляционных свойств и способны к биodeградации, а их основными недостатками являются горючесть и в большинстве случаев сравнительно высокая стоимость и трудоемкость технологии получения. Изделия из наноцеллюлозы могут использоваться для строительной и трубной теплоизоляции.

Другим видом органических утеплителей является торфяная теплоизоляция, для получения которой применяют мало разложившийся (степень разложения 5–12%) торф из мха-сфагнума в верхних слоях, волокна которого сохраняют эластичность. Для производства торфяных плит (торфо плит) торф измельчают на волокна с последующим перемешиванием волокнистой массы в воде с температурой 40–60 °С для размягчения волокон или сушкой до влажности 35–40%. Затем волокнистую массу прессуют в формах при давлении 0,2–0,3 МПа, а полученные плиты подвергают термообработке для твердения и сушки при 90–150 °С. При подсушивании массы перед прессованием торфо плиты получают более плотными и прочными. Связующие при производстве торфо плит не применяются, так как торф содержит собственные битуминозные вяжущие соединения, которые скрепляют волокна при нагреве. Для повышения эксплуатационных свойств в состав торфо плит вводят антипирены, антисептики и гидрофобизаторы. Торфяные утеплители характеризуются хорошими звуко- и теплоизоляционными свойствами ( $\lambda = 0,058–0,064$  Вт/(м·°С)), легкостью, экологичностью, бактерицидностью, низкой прочностью, высокими значениями водопоглощения и гигроскопичности, низкой водостойкостью. Торфо плиты применяют для теплоизоляции стен, перекрытий, вагонов и холодильных установок, а изделия в форме скорлуп и сегментов используют для теплоизоляции трубопроводов. В качестве насыпной теплоизоляции и наполнителя для теплоизоляционных материалов

применяются торфо гранулы, поверхность которых может быть обработана жидким стеклом для повышения биостойкости и снижения горючести. К торфяной теплоизоляции также относятся торфо композиты, в которых торф может применяться как в качестве связующего, так и в качестве наполнителя. Для получения торфо композитов могут применяться верховой и низинный торф, а в качестве связующих могут применяться минеральные и битумные вяжущие, полимерные связующие и др. [26]. Наиболее распространенными торфо композитами являются торфо древесные материалы, в первую очередь торфо блоки (известны под торговым названием геокар), которые представляют собой торфяной утеплитель, наполненный измельченной древесиной, хвоей, соломенной сечкой или кострой [5], теплоизоляционные плиты торфо изол, в которых наполнителем является измельченная древесина, и гранулы торфо зит, которые по свойствам сходны с керамзитом и могут выпускаться в чистом виде или содержать в качестве наполнителя опилки, костру и т.д. Для снижения хрупкости торфо блоков в их состав добавляют горючий сланец и наночастицы кремнезема. Наиболее распространенными материалами, наполненными торфо гранулами, являются торфо бетоны, торфо силикаты и торфо гипсы на минеральных вяжущих для строительной теплоизоляции, а также битумоторфинит (содержит смесь торфо гранул и перлита или вермикулита [26]) на битумном вяжущем для теплоизоляции трубопроводов.

К органическим утеплителям животного происхождения относятся материалы на основе пухо-перьевой смеси и шерсти. В качестве сырья для получения пухо-перьевой смеси используют пух (перо с мягким стержнем и слабым развитием опахала) и мелкое перо (длина стержня до 35 мм) водоплавающих птиц, так как их пух является более прочным, водостойким и упругим: гагачий пух, собираемый вручную из покинутых птицами гнезд, а также гусиный и утиный пух машинной ощипки, являющийся отходом птицеводства. Для получения шерстяных утеплителей используется шерсть домашних животных (преимущественно овчина, козья шерсть, кроличий пух), которая состригается, вычесывается или собирается при линьке, или отходы шерстяного и мехового производства. Пухо-перьевая смесь и шерстяные утеплители характеризуются высокими теплоизоляционными свойствами за счет волокнистой структуры, легкостью, но у них высокое водопоглощение, низкая биостойкость, в них могут развиваться насекомые. Кроме того, пухо-пе-

ревая смесь характеризуется упругостью, долгим временем высыхания и аллергенностью. Пухо-перьевую смесь используют для утепления одежды и туристических спальных мешков, а шерстяные утеплители применяют для утепления одежды, в качестве насыпной теплоизоляции и для производства нетканых рулонных материалов (технический войлок): войлочных матов для тепло- и звукоизоляции в строительстве и войлочных лент для межвенцового утепления. В качестве добавок для шерстяных волокон используются полимерные волокна, льняная пакля, регенерированные волокна хлопка, джута и льна с получением иглопробивного или термоскрепленного термовойлока. Из смеси шерстяных и растительных волокон с добавлением отходов прядильного производства и крахмального клейстера получают так называемый строительный войлок для строительной и технической теплоизоляции. Возможно применение шерсти и соломенной сечки в качестве наполнителей для жидкостекольного связующего с получением теплоизоляционного материала ( $\lambda = 0,044-0,056 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ) [12].

К теплоизоляции на органической основе также можно отнести материалы и изделия, получаемые путем преобразования органического сырья и полуфабрикатов. Из нетканых и тканых материалов из полимерных волокон в результате обработки при  $800-1000 \text{ °C}$  в бескислородной среде получают углеродные (карбонизированные) войлок и ткани, которые в свою очередь могут быть обработаны в бескислородной среде при  $2500-2700 \text{ °C}$  с получением углеродных (графитированных) аналогов. Данные материалы отличаются легкостью, высокой пористостью (до 99%), термостойкостью, хорошими теплоизоляционными свойствами и применяются в качестве технической теплоизоляции в химической и металлургической промышленности, в электротехнике. Низкая стойкость к окислительной среде у данных материалов может быть повышена путем нанесения на волокна защитных покрытий [27]. Существует разработка по карбонизации целлюлозной ваты или древесного волокна путем нагрева до  $150-220 \text{ °C}$ , перемешивания с молотым шламом карналитовых хлораторов, охлаждением до  $40 \text{ °C}$  для напыления, формования изделий или применения в качестве насыпной теплоизоляции с повышенными водостойкостью, огнестойкостью, легкостью и теплоизоляционными свойствами [28]. В результате высокотемпературного разложения газообразных и парообразных углеводородов на нагретой свыше  $2000 \text{ °C}$  инертной поверхности, чаще всего

из конструкционного графита, может быть выделен пиролитический графит (пирографит) в виде плоских гексагональных слоев кристаллита (наноразмерный кристалл) графита с ярко выраженной анизотропией свойств. В направлении, перпендикулярном слоям кристаллита, пирографит обладает очень низкой теплопроводностью и менее высокой прочностью, а в направлении, параллельном слоям кристаллита, – наоборот. Для пирографита характерны высокие значения прочности и химической стойкости, хрупкость при низких температурах, повышение прочности и проявление пластичности при высоких температурах. Пирографит применяется в качестве покрытий и самонесущих деталей для высокотемпературной теплоизоляции и теплозащиты [27].

### Заключение

Утеплители на органической основе отличаются большим разнообразием по составу и свойствам, могут быть получены из веществ только природного, преимущественно растительного, или только синтетического происхождения, либо из смеси натуральных и искусственных веществ. Некоторые теплоизоляционные материалы нельзя однозначно отнести к органическим, так как в их составе в достаточно большом количестве присутствуют неорганические вещества. Утеплители на органической основе широко применяются в строительстве, преимущественно для малоэтажного строительства жилых зданий, и в технической теплоизоляции при отсутствии высоких температур. Для данных материалов характерны наличие природных или синтетических полимерных соединений, горючесть, подверженность воздействию факторов окружающей среды и небольшая термостойкость. Для теплоизоляции на основе природных органических веществ характерны распространенность (для некоторых веществ распространенность локализована в отдельных регионах) и низкая стоимость сырья, средние теплоизоляционные свойства, экологичность, относительно невысокая прочность, низкая биостойкость и высокое водопоглощение, а утеплители на основе синтетических органических веществ характеризуются сравнительно высокой стоимостью, склонностью к деструкции под воздействием внешних факторов, легкостью нанесения (особенно для напыляемых композиций) на различные поверхности, более высокими значениями химической стойкости, теплоизоляционных и физико-механических показателей. Применение связующих с получением композиционных утеплителей позволяет повысить

прочность и снизить водопоглощение, изолировать частицы наполнителя от внешнего воздействия, а в случае неорганических связующих снизить горючесть, но при этом у материалов снижаются теплоизоляционные свойства и повышается масса утеплителя. Однако правильный выбор соотношения наполнителя и связующего позволяет получить эффективные теплоизоляционные, теплоизоляционно-отделочные и конструкционно-теплоизоляционные материалы и изделия.

### Список литературы

1. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на неорганической основе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 9. С. 64–75.
2. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные строительные материалы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 7. С. 76–87.
3. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на древесной основе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 3. С. 66–77.
4. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. Технологии производства, свойства и области применения композиций на основе фенолформальдегидных смол // Научное обозрение. Технические науки. 2017. № 2. С. 96–114.
5. 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.
6. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение древесных отходов для получения теплоизоляционного композиционного материала на основе вторичного полимерного связующего // Экология промышленного производства. 2020. № 2. С. 6–10.
7. Клесов А.А. Древесно-полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии. 2010. 756 с.
8. Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А., Кузнецов Д.С. Исследование теплофизических свойств древесного полимер-песчаного композиционного материала // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6. № 7 (43). С. 142–145.
9. Пастори З., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Мохачине И.Р., Борчок З. Состояние и перспективы использования древесной коры // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. № 5. С. 74–88.
10. Андрейчук Т. Теплоизоляция. Ч. III // Ватерпас. 2001. № 1–2. С. 118–121.
11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 268 с.
12. Давыденко Н.В., Бакатович А.А. Отходы сельскохозяйственной переработки в производстве теплоизоляци-

онных материалов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2009. № 12. С. 55–60.

13. Солдатов Д.А., Мингалеев Н.З., Петров А.Н., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г. Солома и изделия из соломы в строительстве // Научное обозрение. 2016. № 24. С. 8–11.
14. Базарнова Н.Г., Галочкин А.И., Крестьянников В.С. Влияние гидротермической обработки древесины на свойства древесных прессованных материалов // Химия растительного сырья. 1997. № 1. С. 11–16.
15. Савиновских А.В. Получение пластиков из древесных и растительных отходов в закрытых пресс-формах: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2016. 107 с.
16. Кортаев Э.И., Симонов В.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1972. 144 с.
17. Шеина Т.В. Архитектурное материаловедение: учебное пособие. Ч. I. Самара: СамГТУ, 2011. 374 с.
18. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54–67.
19. 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.
20. Мирюк О.А. Ресурсосбережение технологии композиционных магниевых материалов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3–2. С. 28–30.
21. Трищенко И.В., Каклогин А.В., Чижова Я.С. Преимущества производства и применения гипсополистиролбетонных стеновых камней // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. № 2. С. 57–74.
22. Бурдонов А.Е., Бархатенко В.В., Зелинская Е.В., Толмачева Н.А. Теплоизоляционный материал на основе термореактивных смол и отходов теплоэнергетики // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 48–52.
23. Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Кулезнев А.С., Кочетков В.А. Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. № 5. С. 116–125.
24. Wang P., Aliheidari N., Zhang X., Ameli A. Strong ultralight foams based on nanocrystalline cellulose for high-performance insulation. Carbohydrate Polymers. 2019. Vol. 218. P. 103–111.
25. Li T., Song J., Zhao X., Yang Z., Pastel G., Xu S., Jia C., Dai J., Chen C., Gong A., Jiang F., Yao Y., Fan T., Yang B., Wågberg L., Yang R., Hu L. Anisotropic, lightweight, strong, and super thermally insulating nanowood with naturally aligned nanocellulose. Science Advances. 2018. Vol. 4. Iss. 3. Article 3724.
26. Кашинская Т.Я., Журко М.А., Агейчик И.В. Возможности получения продукции строительного назначения на основе торфяного сырья // Природопользование. 2016. № 29. С. 179–187.
27. Волков Г.М. Машиностроительные материалы нового поколения: учебное пособие. М.: Инфра-М, 2018. 319 с.
28. Телесов А.Н., Телесов А.А., Телесов П.А. Способ получения теплоизоляционного огнезащитного строительного материала // Патент РФ № 2543845. Патентообладатели Телесов А.Н., Телесов А.А., Телесов П.А. 2015. Бюл. № 7.

## СТАТЬИ

УДК 624.15

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ И КИНЕТИКИ МАССОПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ****<sup>1</sup>Ганюков А.А., <sup>2</sup>Кадырова И.А., <sup>1</sup>Кадыров А.С., <sup>1</sup>Маратов Д.Д. (студент)**<sup>1</sup>*Казахстанский технический университет, Караганда, e-mail: sgn2002@mail.ru;*<sup>2</sup>*Казахстанский медицинский университет, Караганда, e-mail: irina.adilevna@gmail.com*

В работе рассмотрено моделирование процесса диффузии и переноса веществ в различных средах с применением единого математического аппарата. Рассматривается общая система дифференциальных уравнений в частных производных для описания диффузии вещества и изменения кинетики массообмена веществ. Приводимая система уравнений по аналогии может описывать различные с физической точки зрения процессы диффузии и изменения удельного объема вещества в различных средах. Для этого была проведена проверка размерностей всех величин, входящих в уравнения по методам подобия и размерности. Решение общей системы уравнений с различными начальными и граничными условиями было осуществлено методом конечных разностей с применением неявной (устойчивой) разностной схемы. Решение линейных алгебраических уравнений по полученной неявной разностной схеме реализовано с помощью метода обратной прогонки. Полученные решения могут быть использованы при описании процессов диффузии и массообмена вещества при описании химических процессов, биохимических реакций в организмах, фильтраций жидкостей в средах, такие как грунты, почвы, атмосфера, дисперсные среды и т.п. Для этого необходимо заменить соответствующие коэффициенты в уравнениях, которые соответствуют описанию модели соответствующей среды.

**Ключевые слова:** диффузия веществ, массообмен, уравнения диффузии, уравнения кинетики, метод конечных разностей

**MATHEMATICAL MODELING OF DIFFUSION AND KINETICS OF MASS TRANSFER OF SUBSTANCES IN VARIOUS MEDIA****<sup>1</sup>Ganyukov A.A., <sup>2</sup>Kadyrova I.A., <sup>1</sup>Kadyrov A.S., <sup>1</sup>Maratov D.D. (student)**<sup>1</sup>*The Karaganda Technical University, Karaganda, e-mail: sgn2002@mail.ru;*<sup>2</sup>*The Karaganda Medical University, Karaganda, e-mail: irina.adilevna@gmail.com*

The paper considers modeling of the process of diffusion and transfer of substances in various media using a single mathematical apparatus. A general system of partial differential equations is considered to describe the diffusion of matter and the change in the kinetics of mass exchange of substances. By analogy, the given system of equations can describe different processes of diffusion and changes in the specific volume of matter in various media. To do this, the dimensions of all the quantities included in the equations were checked by similarity and dimension methods. The solution of the general system of equations with different initial and boundary conditions was carried out by the method of finite differences using the implicit (stable) difference scheme. The solution of linear algebraic equations according to an implicit difference scheme is implemented using backward-sweep method. The received solutions can be used at the description of processes of diffusion and a mass exchange of substance when description of chemical processes, biochemical reactions in organisms, filtrations of liquids in media, such as grounds, soils, atmosphere, disperse media, etc. For this purpose it is necessary to replace the corresponding coefficients in the equations which match the description of model of the corresponding media.

**Keywords:** diffusion of substances, mass exchange, diffusion equations, kinetics equations, finite difference method

Процессы диффузии, проникновения и переноса вещества в различных средах могут сильно различаться по своей физической природе, но при этом быть описаны одними и теми же математическими моделями. Эти модели, как правило, носят сложный характер и могут включать в себя различные направления математики. Однако во многих случаях могут быть описаны дифференциальными уравнениями в частных производных. Часто такие уравнения сложны и не имеют аналитических решений, и приходится получать решения в частном случае или прибегать к численным методам. Сложность таких уравнений обусловлена процессом диффузии и массообмена в средах, свойства которой мо-

гут быть описаны различными моделями, и чем сложнее процесс и среда, тем сложнее уравнения.

Так, например, движение масс вещества в организме происходит за счет биохимических реакций. Важную роль играет движение масс вещества из внеклеточного пространства в клетки и, наоборот, из крови во внеклеточное пространство. Такое перемещение вещества связано с различием концентраций веществ в различных частях организма и движением этих веществ по концентрационному градиенту, что является процессом диффузии. Диффузия в растворе представляет скачки молекул из одного квазиравновесного состояния в другое, на расстоянии порядка  $1\text{Å}$ . При этом проис-

ходит выравнивание концентраций по всей жидкости [1].

Цель исследования заключается в построении и получении дискретных решений общей системы уравнений, описывающих процесс диффузии и массообмена в различных средах.

**Материалы и методы исследования**

В работе используются методы численного моделирования систем дифференциальных уравнений, методы научных аналогий и методы теории подобия и размерности. В качестве основы материала исследований для описания процесса диффузии рассмотрим уравнение, связывающее пространственное и временное изменение концентрации (второй закон Фика) [2]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация вещества в жидкости;  $x$  – линейная координата перемещения вещества;  $D$  – коэффициент диффузии.

Следует отметить, что уравнение диффузии (1) справедливо при условии закона сохранения вещества в рассматриваемом объеме, при условии, что не происходит никаких химических реакций. Для учета реакций справедливо [2]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + q, \quad (2)$$

где  $q$  – скорость образования (связывания) молекул вещества.

Математическая модель возбуждения нейрона Лазарева имеет следующий вид [3]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = k \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент диффузии.

С учетом диффузии вещества уравнение (3) запишется в следующем виде:

$$m \frac{\partial C}{\partial t} = v \cdot i - k \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где  $m$  и  $v$  – некоторые постоянные;  $i$  – сила тока, притягивающая к перегородкам клеток ионы. Формально уравнения (2) и (4) одинаковы и описывают процесс одномерной диффузии вещества (солей, ионов и т.д.) в клетках.

На наш взгляд, принятые модели не вполне точно отражают реалии протекающего процесса в некоторых задачах. Например, если не существует перегородки  $x_2$  (рис. 1) и необходимо определить величину (глубину)  $x$ , на которую предельно

проникают ионы. Необходимо также учитывать: скорость фильтрации; плотность солей; удельный объем солей за мембранной перегородкой, а также его изменение по времени  $t$  и расстоянию  $x$ .

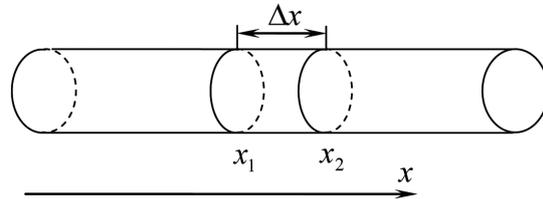


Рис. 1. Схема моделирования одномерной диффузии

Понятия, относящиеся к ионизации (скорость фильтрации, удельный объем солей, плотность), при формализации описываются понятиями скорости диффузии ионов, зарядом за перегородкой  $x_1$  и т.д.

Рассмотрим предлагаемые уравнения движения ионов посредством диффузии через мембрану  $x_1$  [2]:

$$Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (5)$$

где  $D$  – коэффициент конвективной диффузии  $L^3t^{-1}$ ;  $C$  – концентрация вещества (ионов) в жидкости,  $ML^{-3}$ ;  $\xi$  – удельный объем вещества (ионов, солей и т.п.) в среде в д. ед.;  $m_0$  – проницаемость (в некоторых случаях пористость);  $v$  – скорость фильтрации  $L^3t^{-1}$ ;  $\delta$  – плотность солей,  $ML^{-3}$ . Здесь размерности величин даны в виде обозначений величин из теории подобия и размерности.

Левая часть уравнения (5) определяет ускорение изменения концентрации солей по величине перемещения  $x$ , с учетом диффузии  $D$  и проницаемости  $m_0$ :

$$Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}. \quad (6)$$

В правой части уравнения приведено выражение скорости изменения концентрации по времени с учетом проницаемости:

$$m_0 \frac{\partial C}{\partial t}. \quad (7)$$

В уравнениях (1) и (3), по сути, приравнивают зависимости (6) и (7). На наш взгляд, необходимо учесть, что величина ускорения концентрации  $C$  по координате  $x$  уменьшается в зависимости от изменения скорости фильтрации  $v$  и скорости изменения концентрации по  $x$ :  $\partial C / \partial x$ . Кроме того, очевидно, что на ускорение (6) влияет в сто-

рону уменьшения плотность  $\delta$  и изменение удельного объема  $\xi$  по времени. В связи с этим в уравнении (5) учтены в левой части второе и третье слагаемые.

Воспользовавшись первой теоремой подобия, определим соответствие размерностей в правой и левой частях уравнения (5):

$$Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \left[ \frac{L^2}{t} \cdot \frac{M}{L^3} \cdot \frac{1}{L} \right] = \frac{M}{t \cdot L^3}; \quad (8)$$

$$v \frac{\partial C}{\partial x} = \left[ \frac{L}{t} \cdot \frac{M}{L^3} \cdot \frac{1}{L} \right] = \frac{M}{t \cdot L^3}; \quad (9)$$

$$\delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = \left[ \frac{M}{L^3} \cdot \frac{1}{t} \right] = \frac{M}{t \cdot L^3}; \quad (10)$$

$$m_0 \frac{\partial C}{\partial t} = \left[ \frac{M}{L^3} \cdot \frac{1}{t} \right] = \frac{M}{t \cdot L^3}. \quad (11)$$

Все члены уравнения (5) имеют одинаковые размерности, что говорит о его применении для описания различных процессов в средах. При диффузии изменяется (или может изменяться) удельный объем  $\xi$  проникающего вещества. Его значение зависит от плотности обобщенного коэффициента ионоотдачи  $\gamma$  и предельной концентрации насыщения ионами  $C_m$ .

Скорость изменения  $\xi$  по времени описывается уравнением кинетики массопереноса вещества [4]:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\delta} (C_m - C) \xi^k, \quad (12)$$

где  $k$  – коэффициент заполнения. Коэффициент  $k$  описывает физику ионизации:  $k = 0$  – поверхностная (пленочная) ионизация;  $0 < k \leq 1$  – объемная ионизация (дисперсная).

Таким образом, процесс диффузии и массообмена вещества можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}; \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\delta} (C_m - C) \xi^k. \end{cases} \quad (13)$$

Для решения системы (13) необходимо задать начальные и граничные условия для функций  $C(x, t)$  и  $\xi(x, t)$ . Для функции  $C(x, t)$  граничные условия могут принимать вид

$$\begin{cases} C(0, t) = C_0; \\ \frac{\partial C(L, t)}{\partial x} = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial C(0, t)}{\partial x} = \frac{v}{m_0 D} (C(0, t) - C_0); \\ \frac{\partial C(L, t)}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Особенностью первого условия (14) является мгновенное образование зоны постоянной концентрации  $C_0$  на входной поверхности рассматриваемого участка ( $x = 0$ ). Второе условие (14) выражает баланс диффузии ионов во входном сечении потока: расход ионов, поступающих в мембраны вследствие фильтрации  $C_0 v$ , равен расходу ионов на поверхности ( $x = 0$ ), формирующемуся в результате диффузии, фильтрации и пористости. Использование этого условия даёт постепенную ионизацию входного сечения до концентрации  $C_0$ . Второе условие (14) предпочтительнее первого условия (14). В обоих граничных условиях (14) в конечном участке  $x = L$  рассматриваемой области принимается, что скорость диффузии ионов в этом сечении постоянна и поэтому градиент концентрации равен нулю.

Также зададим начальные условия ( $t = 0$ ) для функций  $\xi(x, t)$  и  $C(x, t)$ :

$$\begin{cases} C(x, 0) = C_n, \\ \xi(x, 0) = \xi_0, \end{cases} \quad (15)$$

где  $C_n$  – концентрация в начальный момент времени вдоль оси  $x$ ;  $\xi_0$  – величина удельного объема в начальный момент времени в области.

Таким образом, постановка задачи следующая: необходимо найти распределение концентрации  $C(x, t)$  и удельного объема  $\xi(x, t)$  вдоль оси  $x$  и во времени. В математической постановке эта задача сводится к решению системы (13) с условиями (14)–(15). Решение системы (13) в аналитическом виде представляет определенные математические трудности.

Для удобства решения введём безразмерную координату и время:  $\bar{x} = x/L$ ,  $\bar{t} = vt/m_0 L$ , тогда уравнения (13) и условия (14)–(15) можно записать для объемной ионизации ( $k = 1$ ) в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial \bar{t}} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}^2} - \frac{\partial C}{\partial \bar{x}} + N(C_m - C); \\ \frac{\partial \xi}{\partial \bar{t}} = -\frac{1}{\delta} N(C_m - C) \xi, \end{cases} \quad (16)$$

где  $Pe = \frac{vL}{m_0 D}$  – критерий Пекле;  $N = \frac{m_0 \gamma L}{v}$  – критерий растворения. В но-

вых обозначениях условия (14)–(15) примут вид

$$\begin{cases} C(0, \bar{t}) = C_0; \\ \frac{\partial C(1, \bar{t})}{\partial x} = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial C(0, \bar{t})}{\partial x} = Pe(C(0, \bar{t}) - C_0); \\ \frac{\partial C(1, \bar{t})}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} C(\bar{x}, 0) = C_n; \\ \xi(\bar{x}, 0) = \xi_0. \end{cases} \quad (18)$$

Таким образом, решение системы уравнений (13) с условиями (17)–(18) будет зависеть только от двух безразмерных критериев  $Pe$  и  $N$ , изменяя которые можно получить различные режимы процесса диффузии и изменения удельного объема проникающего вещества. Это позволяет получить решения  $C(\bar{x}, \bar{t})$  и  $\xi(\bar{x}, \bar{t})$  модельной

задачи на отрезке  $\bar{x} \in [0; 1]$  в безразмерном виде в зависимости от двух критериев  $Pe$  и  $N$  для различных процессов диффузии, фильтрации и кинетики переноса вещества в различных средах.

Для решения этой задачи был применен численный метод конечных разностей по неявной разностной схеме с использованием метода обратной прогонки. Как известно неявные схемы устойчивы и позволяют получить сходящиеся дискретные решения для любых соотношений шагов по аргументам  $\bar{t}$  и  $\bar{x}$  [5].

Решение уравнений (17)–(18) находится в области  $R = [0 \leq \bar{x} \leq 1] \times [0 \leq \bar{t} \leq T]$ . В области  $R$  была введена равномерная прямоугольная сетка, образованная пересечением линий  $\bar{x}_i = i \cdot h$  ( $i = 0, 1, \dots, M$ ) и  $\bar{t}_j = j \cdot \tau$  ( $j = 0, 1, \dots, P$ ); величины  $h, \tau$  являются шагами сетки по переменным  $\bar{x}$  и  $\bar{t}$ ;  $M = [1/h]$  и  $P = [T/\tau]$  – целые части соответствующих дробей. Значения функций в узлах сетки обозначаются  $C_i^j = C(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$  и  $\xi_i^j = \xi(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$ .

Конечноразностная схема для системы (16) имеет вид

$$\begin{cases} AC_{i-1}^{j+1} - GC_i^{j+1} + BC_{i+1}^{j+1} = -F_i, & (j = 1, 2, \dots, P-1); \\ \xi_i^{j+1} = \xi_i^j - \frac{1}{\delta} N\tau(C_m - C_i^{j+1})\xi_i^j, & (i = 1, 2, \dots, M-1). \end{cases} \quad (19)$$

Граничные и начальные условия (17)–(18) имеют вид

$$\begin{aligned} C_0^{j+1} &= \frac{1}{1+hPe} C_1^{j+1} + \frac{hPeC_0}{1+hPe}, \\ C_M^{j+1} &= C_{M-1}^{j+1}, C_i^0 = C_n; \xi_i^0 = \xi_0. \end{aligned} \quad (20)$$

На каждом временном слое  $\bar{t}_j$  первое уравнение аппроксимированной системы (19) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений для определения величин  $C_i^{j+1}$  на следующем временном слое; правые части этих уравнений известны, поскольку содержат значения решения с предыдущего временного слоя. Решение системы линейных уравнений для определения  $C_i^{j+1}$  осуществляется методом обратной прогонки [5]. После определения  $C_i^{j+1}$  определяется  $\xi_i^j$  по второму уравнению системы (19). Таким образом, определяются значения концентрации диффузора  $C_i^j = C(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$  и удельного объема вещества  $\xi_i^j = \xi(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$  в дискрет-

ном виде для каждой точки по длине оси  $\bar{x} \in [0; 1]$  в течение времени  $\bar{t}$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 приведена зависимость распределения концентрации  $C(\bar{x}, \bar{t})$  ионов во времени при различных значениях  $Pe$  и  $N$  в срединном сечении области  $\bar{x} \in [0; 1]$ . Из распределения концентраций на рис. 2 видно, что при возрастании критерия Пекле и средних значениях критерия растворения концентрация ионов в фильтрующейся плазме сравнительно быстро достигает предельной концентрации насыщения  $C_m$  за счет увеличения скорости фильтрации и достаточно большого значения коэффициента ионоотдачи  $\gamma$ . При малых значениях критерия Пекле и критерия растворения процесс растворения протекает значительно медленнее и концентрация убывает до величины  $C_0$  за счет того, что на входном сечении грунта происходит постепенное опреснение до величины  $C_0$  (вторые граничные условия (17)).

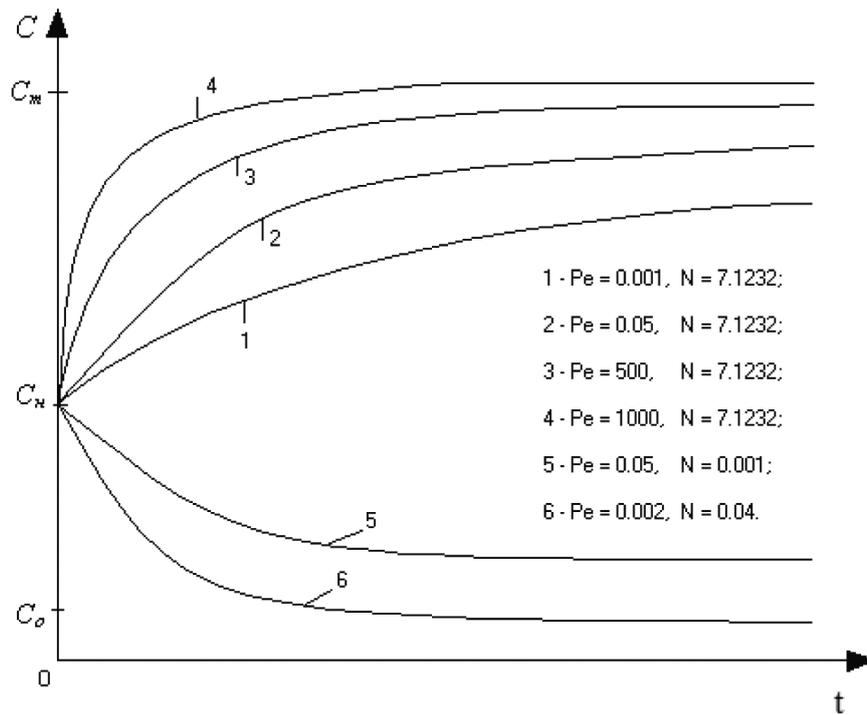


Рис. 2. Изменение концентрации диффузора ионов во времени

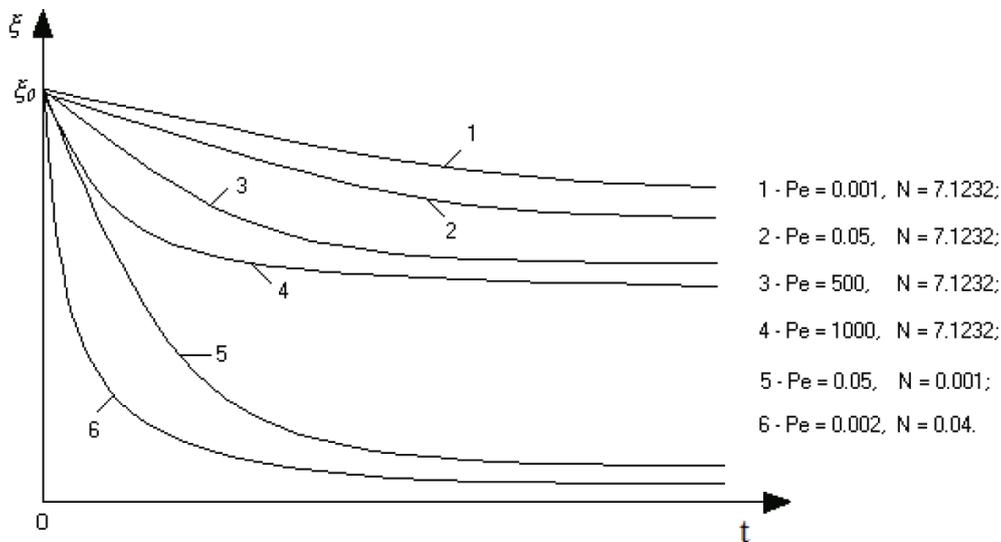


Рис. 3. Изменение удельного объема вещества среды во времени

На рис. 3 показана зависимость распределения удельного объема  $\xi(x, t)$  от времени также при различных значениях  $Pe$  и  $N$  в срединном сечении области  $\bar{x} \in [0; 1]$ .

Из распределения удельного объема на рис. 3 видно, что при больших и малых числах Пекле, через определенное время,

содержание удельного объема переносимого вещества в среде становится постоянным, что свидетельствует о насыщении ионами фильтрующейся среды до своего предельного значения  $C_m$  (или установлении фильтра) и процесс изменения удельного объема  $\xi$  вещества из среды прекращается.

### Заключение

Полученные решения для  $C$  и  $\xi$  системы универсальных дифференциальных уравнений в частных производных (16) с условиями (17)–(18) позволяют смоделировать процесс диффузии и массопереноса веществ в различных средах. За счет своей универсальности система по аналогии может описывать различные с физической точки зрения процессы диффузии и изменения удельного объема вещества в различных средах. Это позволяет использовать результаты решения при описании химических процессов, биохимических реакций в ор-

ганизмах, фильтраций жидкостей в средах, такие как грунты, почвы, атмосфера, дисперсные среды и т.п.

### Список литературы

1. Волькенштейн М.В. Биофизика: учебное пособие. СПб.: Лань, 2012. 608 с.
2. Бекман И.Н. Математика диффузии: учебное пособие. М.: Издательство «ОнтоПринт», 2016. 400 с.
3. Клюкин В.И., Николаенков Ю.К. Электрические и математические модели нейронов. Воронеж: «Издательский центр ВГУ», 2011. 163 с.
4. Егеров В.К. Диффузионная кинетика в неподвижных средах. М.: Наука, 2012. 230 с.
5. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Численные методы решения задач конвекции-диффузии. М.: КД «Либриком», 2015. 248 с.

УДК 531.1

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ В ПЛАНАХ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ

**Подобед С.А.**

*Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: podobedsa@mail.ru*

В педагогической науке мотивацию учебной деятельности студентов считают важнейшей проблемой, не теряющей своей актуальности и сегодня, так как учебная мотивация является силой, побуждающей студентов к изучению дисциплин, получению знаний, формирующих компетенции. В связи с этим преподаватели следуют не только проверенным на практике рекомендациям по повышению мотивации, но и предлагают свои подходы к решению этой проблемы. Один из таких подходов, призванных повысить интерес студентов к изучаемым дисциплинам, в частности к дисциплинам «Теоретическая механика» и «Прикладная механика (теория машин и механизмов)», стал причиной написания данной статьи. Сущность этого подхода состоит в том, чтобы через практическую реализацию дидактического принципа, предъявляемого к содержанию программного материала дисциплины, а именно принципа доступности, который предполагает, что степень сложности учебного материала должна соответствовать уровню подготовленности и имеющемуся запасу знаний студентов, содержание и объем которого должно быть понятным и посильным соответственно – слишком легкий материал и слишком сложный материал понижают мотивацию. Анализ содержания тем, представленных в учебниках по теоретической механике, прикладной механике (теории машин и механизмов), показывает, что некоторые из них представляют сложность в восприятии из-за сложности алгоритма применяемых методов, в частности аналитического метода определения кинематических параметров плоского движения звеньев механизма – метода замкнутых векторных контуров, предложенного В.А. Зиновьевым, являющегося высокоточным методом. По этой причине предложен аналитический метод определения кинематических характеристик тела, совершающего плоское движение с использованием метрических соотношений в планах скоростей и ускорений. В результате повысилась значимость такого научного открытия, как план скоростей и план ускорений; метод обладает наглядностью и высокой точностью вычислений, использует аналитические выражения, содержащие только алгебраические и тригонометрические операции, значительно упрощая его алгоритм.

**Ключевые слова:** кинематика плоского движения, кинематический анализ плоских механизмов, теория машин и механизмов (прикладная механика), планы скоростей и ускорений, мотивация учебной деятельности, метрические соотношения в треугольниках

## ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE BASIC KINEMATIC CHARACTERISTICS OF PLANE BODY MOTION USING METRIC RELATIONS IN THE PLANS OF SPEED AND ACCELERATION

**Podobed S.A.**

*Polytechnic Institute (branch) M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,  
Mirny, e-mail: podobedsa@mail.ru*

One of the most urgent problems of pedagogical science is the encouraging of students' learning activities, which is so far relevant today, for educational motivation is a force that drives students to study disciplines and acquire knowledge that forms competencies. In this regard, along with following the proven recommendations for increasing motivation, the teachers also offer their own approaches to this problem. One of such approaches aimed to increase students' interest in the program disciplines, in particular, «Theoretical Mechanics» and «Applied Mechanics (theory of machines and mechanisms)», caused this article to be written. The essence of the proposed approach is that through the practical implementation of the didactic principle presented to the content of the program material of the discipline, namely the principle of accessibility, which assumes that the degree of complexity of the educational material should correspond to the level of preparedness and the available stock of knowledge of students, the content and volume of which should be understandable and feasible, respectively – exceedingly complex material lowers motivation. Analysis of the content of the topics presented in textbooks on theoretical mechanics, applied mechanics (theory of machines and mechanisms) shows some of them are difficult to perceive due to the complexity of the algorithm of the methods used, in particular, an analytical method for determining the kinematic parameters of the mechanism links plane motion, the method of closed vector paths, proposed by V.A. Zinoviev. For this reason, an analytical method is proposed for determining the kinematic characteristics of a body performing a plane motion using metric ratios in the plans of speeds and accelerations. As a result, the significance of such scientific discoveries as the plan of speeds and the plan of accelerations has increased; the method possesses visualization and accuracy of calculations, applies analytical expressions containing only algebraic and trigonometric operations, significantly simplifying its algorithm.

**Keywords:** plane kinematics, kinematic analysis of plain mechanisms, theory of machines and mechanisms (applied mechanics), plans of speed and acceleration, learning activity motivation, triangle metric relationships

Для определения кинематических характеристик плоского движения тела применяются как графические (метод планов), так и аналитические методы исследования. Планы скоростей и планы ускорений являются векторными решениями кинема-

тических задач при применении теоремы о скоростях и теоремы об ускорениях плоской фигуры. Графические методы просты и наглядны, но у них невысокая точность, связанная с графическими построениями, и надо строить планы скоростей и ускорений для каждого положения механизма. В литературе, изучающей плоскопараллельное движение, отмечается, что с появлением ЭВМ техническое значение планов скоростей и ускорений утратило свой смысл. Но, с другой стороны, эти планы являются идеальным учебным материалом для изучения плоского движения. Высокоточные аналитические методы содержат сложные алгоритмы, понижающие мотивацию учебной деятельности. Эти обстоятельства определили цель данной работы.

Цель исследования – предложить аналитический метод определения основных кинематических характеристик плоского движения тела, удовлетворяющий следующим требованиям: обеспечивать высокую точность, содержать простой алгоритм, способствовать закреплению учебного материала по теме «Плоское движение твердого тела» и повышать мотивацию учебной деятельности.

**Материалы и методы исследования**

В учебной литературе по теоретической механике [1–3] для определения кинематических характеристик плоского движения твердого тела используются графические (метод планов и метод диаграмм) методы или вычисляются с помощью мгновенных центров скоростей и ускорений, или с помощью основной теоремы кинематики. В теории машин и механизмов (прикладная механика) эти методами также пользуются наряду с высокоточными аналитическими методами, в частности методом замкнутых векторных контуров, предложенным В.А. Зиновьевым [4]. В данной работе предлагается аналитический метод кинематического анализа плоских механизмов, звенья которого совершают плоскопараллельное движение с использованием метрических соотношений в векторных треугольниках планов скоростей и ускорений. Алгоритм этого метода заключается в том, что, используя планы положений механизма, планы скоростей и ускорений, а также свойства планов, определяются внутренние углы векторных треугольников в планах скоростей и ускорений точек звена и далее по теореме косинусов или синусов находят скорости и ускорения.

Изложение метода демонстрируется на примере кинематического анализа кривошипно-шатунного механизма, план по-

ложений которого изображен на рисунке, *a*, план скоростей – на рисунке, *б*, план ускорений – на рисунке, *в*.

*Определение скоростей.* Звено ВС механизма совершает плоскопараллельное движение. Для построения плана скоростей решают систему векторных уравнений:

$$\begin{cases} \vec{V}_C = \underline{\underline{V}}_B + \underline{\underline{V}}_{C(B)}, \\ \vec{V}_C = \underline{\underline{V}}_{Cx}. \end{cases} \quad (1)$$

где  $\underline{\underline{V}}_B$  – известная по величине и по направлению (перпендикулярно звену *AB*, в сторону вращения звена *AB* (подчеркнута двумя чертами)) скорость точки *B*, принимаемая за полюс;  $\underline{\underline{V}}_{C(B)}$  – скорость точки *C* при вращении ее вокруг полюса *B*, известная только по направлению (подчеркнута одной чертой);  $\underline{\underline{V}}_{Cx}$  – известная по направлению скорость точки *C* (направлена параллельно направляющей *x-x*).

Решая систему векторных уравнений (1), используя свойство подобия планов (плоские фигуры на плане положений и на плане скоростей геометрически подобны) в произвольном масштабе строится план скоростей для точек механизма, следуя разработанным отечественными учеными методикам [4, 5]. Точкам плана положений *A, B, C, D, S<sub>2</sub>, E* (рисунок, *a*) соответствуют точки плана скоростей *p (a), b, c, d, s<sub>2</sub>, e* (рисунок, *б*). Векторы, проведенные из полюса плана скоростей *P*, изображают абсолютные скорости, а векторы, не проходящие через полюс, изображают относительные скорости точек звена *BC* для данного положения механизма (угла поворота звена *AB – φ*).

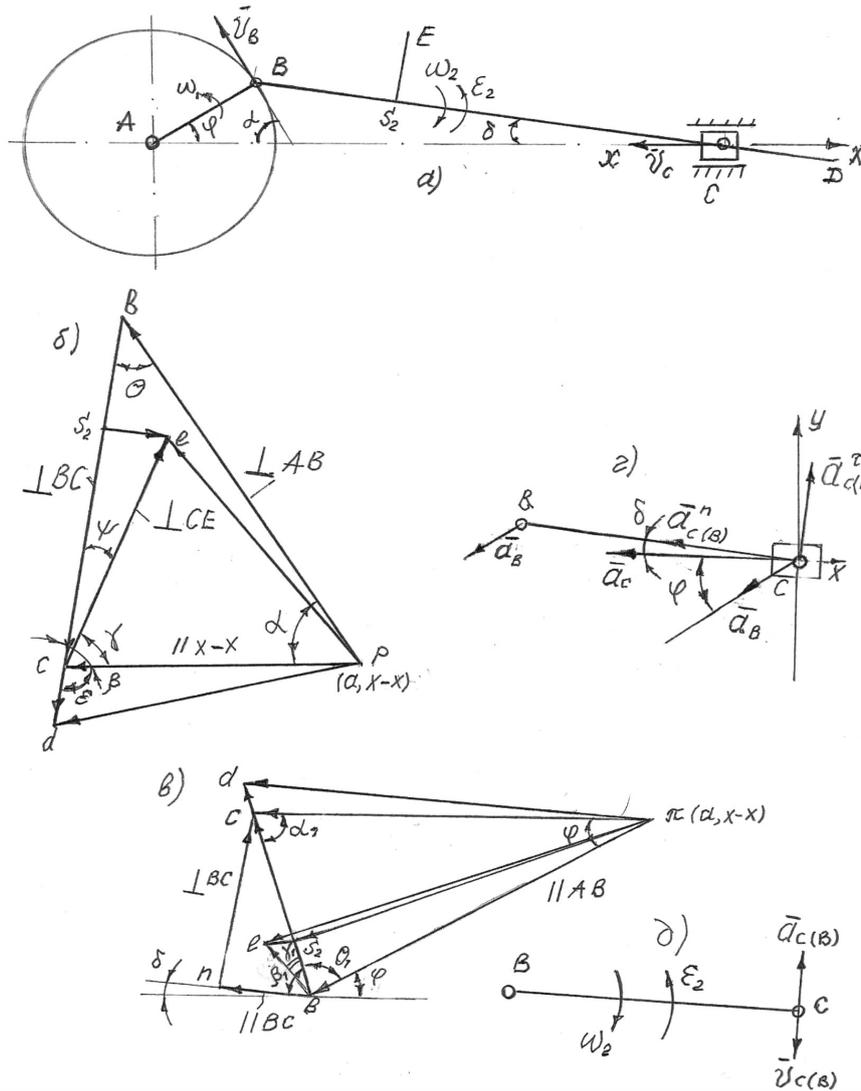
Из векторного треугольника *pbc* плана скоростей абсолютную скорость точки *C* вычисляем, применяя теорему синусов:

$$\begin{aligned} V_C / \sin \theta &= V_{C(B)} / \sin \alpha = V_B / \sin \beta \\ V_C &= \frac{V_B \sin \theta}{\sin \beta} = \\ &= \frac{V_B \left( \lambda \cos \varphi \sin \varphi + \sin \varphi \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi} \right)}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}} \end{aligned} \quad (2)$$

$V_B$  – абсолютная скорость точки *B*, изображаемая отрезком *pb* и вычисляемая по формуле

$$V_B = \omega_{AB} \cdot l_{AB} = \omega_1 \cdot l_{AB}, \quad (3)$$

здесь  $\omega_1 = \omega_{AB}$  – заданная постоянная угловая скорость звена *AB*;  $l_{AB}$  – длина звена *AB*.



Метод планов: а) план положений; б) план скоростей; в) план ускорений; г) составляющие ускорения  $\vec{a}_C$ ; д) направления  $\omega_2$  и  $\epsilon_2$  звена BC

$V_{C(B)}$  – относительная скорость точки C во вращательном движении вокруг точки B, изображаемая отрезком  $bc$  и вычисляемая по формуле

$$V_{C(B)} = \omega_{BC} \cdot l_{BC} = \omega_2 \cdot l_{BC} \tag{4}$$

где  $\omega_2 = \omega_{BC}$  – угловая скорость звена BC;  $l_{BC}$  – длина звена BC. Из геометрических соотношений и свойств планов скоростей вычисляем  $\sin \theta, \sin \alpha, \sin \beta$ :

$$\cos \alpha = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \sin \varphi; \quad \cos \beta = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) = \sin \delta = \frac{l_{AB}}{l_{BC}} \sin \varphi = \lambda \sin \varphi;$$

$$\sin \alpha = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \cos \varphi; \quad \sin \beta = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) = \cos \delta = \sqrt{1 - \sin^2 \delta} = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}; \tag{5}$$

$$\sin \theta = \sin[\pi - (\alpha + \beta)] = \sin(\alpha + \beta) = \lambda \cos \varphi \sin \varphi + \sin \varphi \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi};$$

$$\cos \theta = [\pi - (\alpha + \beta)] = -\cos(\alpha + \beta) = \left(\cos \varphi \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi} - \lambda^2 \sin^2 \varphi\right).$$

Из векторного треугольника  $pbc$  плана скоростей также находим относительную скорость  $V_{C(B)}$  точки  $C$  при вращении ее вокруг полюса  $B$ , применяя теорему синусов:  $\frac{V_{C(B)}}{\sin \alpha} = \frac{V_B}{\sin \beta}$ , откуда

$$V_{C(B)} = \frac{V_B \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_B \cos \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (6)$$

По свойству подобия планов, составляя пропорции, находят положение точек  $S_2, D, E$  звена  $BC$  на плане скоростей  $s_2, d, e$  и величины их относительных скоростей. Для относительной скорости  $V_{S_2}$  точки  $S_2$  при вращении ее вокруг полюса  $B$  составим пропорцию:

$$\frac{l_{BC}}{l_{BS_2}} = \frac{bc}{bs_2} = \frac{V_{C(B)}}{V_{S_2(B)}}, \quad V_{S_2(B)} = \frac{V_{C(B)} \cdot l_{BS_2}}{l_{BC}}. \quad (7)$$

Для относительной скорости  $V_{D(B)}$  точки  $D$  при вращении ее вокруг полюса  $B$  составим пропорцию:

$$\frac{l_{BC}}{l_{BD}} = \frac{bc}{bd} = \frac{V_{C(B)}}{V_{D(B)}}, \quad V_{D(B)} = \frac{V_{C(B)} \cdot l_{BD}}{l_{BC}}. \quad (8)$$

Для относительной скорости  $V_{E(C)}$  точки  $E$  при вращении ее вокруг полюса  $C$  составим пропорцию (точка  $C$  взята за полюс вместо точки  $B$  из удобства):

$$\frac{l_{BC}}{l_{CE}} = \frac{bc}{ce} = \frac{V_{C(B)}}{V_{E(C)}}, \quad V_{E(C)} = \frac{V_{C(B)} \cdot l_{CE}}{l_{BC}}. \quad (9)$$

Применяя теорему косинусов в треугольнике  $pbs_2$  плана скоростей, вычислим скорость точки  $S_2$ :

$$V_{S_2} = \sqrt{V_B^2 + V_{S_2(B)}^2 - 2V_B V_{S_2(B)} \cos \theta}. \quad (10)$$

Применяя теорему косинусов в треугольнике  $pbd$  плана скоростей, вычислим скорость точки  $D$ :

$$V_D = \sqrt{V_B^2 + V_{D(B)}^2 - 2V_B V_{D(B)} \cos \theta}. \quad (11)$$

Применяя теорему косинусов в треугольнике  $pce$  плана скоростей, вычислим скорость точки  $E$ :

$$V_E = \sqrt{V_C^2 + V_{E(C)}^2 - 2V_C V_{E(C)} \cos \gamma},$$

где

$$\cos \gamma = \cos(\beta - \psi) = \cos \beta \cos \psi + \sin \beta \sin \psi = \lambda_1 \cos \varphi + \lambda_2 \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}. \quad (12)$$

Здесь  $\cos \psi = \frac{l_{CS_2}}{l_{CE}} = \frac{l_{BC} - l_{BS_2}}{l_{CE}} = \lambda_1$ ,  $\sin \psi = \frac{l_{S_2E}}{l_{CE}} = \lambda_2$ .

Угловую скорость звена  $BC$  определим из формулы

$$\omega_2 = \frac{V_{C(B)}}{l_{BC}}. \quad (13)$$

Направление угловой скорости  $\omega_2$  определится направлением вектора скорости  $V_{C(B)}$ , а для последующих значений  $\varphi$  также знаком  $V_{C(B)}$  (изменение знака  $V_{C(B)}$  на противоположный означает изменение первоначального направления  $\omega_2$  на противоположное) (рисунок,  $d$ ). Направление вектора скорости  $\vec{V}_C$  при последующих значениях  $\varphi$  определится знаком  $V_C$  (изменение знака  $V_C$  на противоположный означает изменение первоначального направления вектора на противоположное) (рисунок,  $d$ ).

*Определение ускорений.* Для построения плана ускорений (рисунок, в) решают систему векторных уравнений

$$\begin{cases} \vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{C(B)} = \underline{\underline{\vec{a}_B}} + \underline{\underline{\vec{a}_{C(B)}^n}} + \underline{\underline{\vec{a}_{C(B)}^\tau}}, \\ \vec{a}_C = \underline{\underline{\vec{a}_{Cx}}}. \end{cases} \quad (14)$$

где  $\underline{\underline{\vec{a}_B}}$  – известное по величине и по направлению (направлено вдоль звена  $AB$  к центру вращения (подчеркнуто двумя чертами)) ускорение точки  $B$ , принимаемой за полюс (отрезок  $лв$ );  $\underline{\underline{\vec{a}_{C(B)}^n}}$  – известное по величине и по направлению (направлено вдоль звена к точке  $B$  (подчеркнуто двумя чертами)) нормальное ускорение точки  $C$  (отрезок  $вп$ );  $\underline{\underline{\vec{a}_{C(B)}^\tau}}$  – известное только по направлению (направлено перпендикулярно звену  $BC$  (подчеркнуто одной чертой)) тангенциальное ускорение точки  $C$  (отрезок  $пс$ );  $\underline{\underline{\vec{a}_{Cx}}}$  – известное по направлению (направлено параллельно направляющей  $x-x$ ) ускорение точки  $C$  (отрезок  $пс$ ). Решая систему векторных уравнений (14), используя свойство подобия планов (плоские фигуры на планах положений и на планах ускорений геометрически подобны) в произвольном масштабе построен план ускорений, следуя методикам, разработанным отечественными учеными [4, 5]. Точкам плана положений  $A, B, C, D, E$  (рисунок, а) соответствуют точки плана ускорений  $a(\pi), b, c, s_2, d, e$  (рисунок, в). Векторы, проведенные из полюса плана ускорений  $\pi$ , изображают абсолютные ускорения, а векторы, не проходящие через полюс, изображают относительные ускорения точек  $B, C, S_2, D, E$  для данного положения механизма.

Из векторного треугольника  $\pi bc$  плана ускорений (рисунок, в) абсолютное ускорение точки  $C$  вычислим из пропорций (теорема синусов)  $a_C / \sin \theta_1 = a_B / \sin \alpha_1 = a_{C(B)} / \sin \varphi$

$$a_C = \frac{a_B \sin \theta_1}{\sin \alpha_1}, \quad (15)$$

где  $a_B$  – абсолютное ускорение точки  $B$ , равное нормальному ускорению  $a_B^n$  (касательное ускорение точки  $a_B^\tau = \varepsilon_1 \cdot l_{AB} = 0$ , так как угловая скорость звена  $AB$   $\omega_1 = \text{const}$ ) вычисляется по формуле

$$a_B = \sqrt{(a_B^n)^2 + (a_B^\tau)^2} = a_B^n = \omega_1^2 \cdot l_{AB}. \quad (16)$$

Здесь  $\omega_1 = \omega_{AB}$  – заданная постоянная угловая скорость звена  $AB$ ;  $l_{AB}$  – длина звена  $AB$ .  $a_{C(B)}$  – полное относительное ускорение точки  $C$  (отрезок  $вс$ ) во вращательном движении вокруг точки  $B$ , вычисляемое по формуле

$$a_{C(B)} = \sqrt{(a_{C(B)}^n)^2 + (a_{C(B)}^\tau)^2}. \quad (17)$$

Здесь  $a_{C(B)}^n$  – нормальное ускорение точки  $C$  во вращательном движении вокруг точки  $B$ , равное  $a_{C(B)}^n = \omega_2^2 \cdot l_{BC}$ ;  $a_{C(B)}^\tau$  – касательное ускорение точки  $C$  во вращательном движении ее вокруг точки  $B$ , равное  $a_{C(B)}^\tau = \varepsilon_2 \cdot l_{BC}$  ( $\omega_2$  и  $\varepsilon_2$  угловая скорость и угловое ускорение звена  $BC$  соответственно).

$\sin \theta_1$  – синус  $\angle \pi bc$  плана ускорений (рисунок, в);  $\theta_1 = [\pi - (\delta + \varphi + \beta_1)]$ .

Тогда

$$\sin \theta_1 = \sin [\pi - (\delta + \varphi + \beta_1)] = \sin [(\delta + \varphi) + \beta_1] = \sin(\delta + \varphi) \cos \beta_1 + \cos(\delta + \varphi) \sin \beta_1. \quad (18)$$

Здесь

$$\cos(\delta + \varphi) = \cos \delta \cos \varphi - \sin \delta \sin \varphi, \quad \sin(\delta + \varphi) = \sin \delta \cos \varphi + \sin \varphi \cos \delta, \quad \sin \beta_1 = \frac{\text{tg} \beta_1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \beta_1}},$$

$$\cos \beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \beta_1}}, \quad \text{tg} \beta_1 = \frac{\varepsilon_2}{\omega_2^2}, \quad \sin \delta = \frac{l_{AB}}{l_{BC}} \sin \varphi = \lambda \sin \varphi, \quad \cos \delta = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}.$$

$$\sin \alpha_1 = \sin [\pi - (\theta_1 + \varphi)] = \sin(\theta_1 + \varphi) = \sin \theta_1 \cos \varphi + \cos \theta_1 \sin \varphi. \quad (19)$$

Здесь  $\cos \theta_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1}$ .

Угловое ускорение  $\varepsilon_2$  звена  $BC$  вычисляется проецированием векторного уравнения  $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{C(B)}^n + \vec{a}_{C(B)}^\tau$  на ось  $y-y$ , перпендикулярную известному направлению искомого ускорения  $\vec{a}_C$  (рисунок,  $z$ )

$$-a_B \cdot \sin \varphi + a_{C(B)}^n \cdot \sin \delta + a_{C(B)}^\tau \cdot \cos \delta = 0, \quad a_{C(B)}^\tau \cdot \cos \delta = a_B \cdot \sin \varphi - a_{C(B)}^n \cdot \sin \delta,$$

$$a_{C(B)}^\tau = \frac{a_B \cdot \sin \varphi - a_{C(B)}^n \cdot \sin \delta}{\cos \delta}, \quad \varepsilon_2 \cdot l_{BC} = \frac{\omega_1^2 \cdot l_{AB} \cdot \sin \varphi - \omega_2^2 \cdot l_{BC} \sin \delta}{\cos \delta},$$

откуда

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{CB} = \frac{\omega_1^2 \cdot l_{AB} \cdot \sin \varphi - \omega_2^2 \cdot l_{BC} \sin \delta}{l_{BC} \cdot \cos \delta}. \quad (20)$$

Направление ускорения звена  $\varepsilon_2$  определяется направлением вектора  $a_{C(B)}^\tau$  (рисунок,  $z$ ). Относительные ускорения точек  $S_2, D, E$  находятся из пропорций по свойству подобия планов. Относительное ускорение точки  $S_2$  находится из пропорции

$$\frac{l_{BC}}{l_{BS_2}} = \frac{bc}{bs_2} = \frac{a_{C(B)}}{a_{S_2(B)}}, \quad a_{S_2(B)} = \frac{l_{BS_2} \cdot a_{C(B)}}{l_{BC}}. \quad (21)$$

Абсолютное ускорение точки  $S_2$  (отрезок  $\pi s_2$ ) находится по теореме косинусов

$$a_{S_2} = \sqrt{a_B^2 + a_{S_2(B)}^2 - 2a_B a_{S_2(B)} \cos \theta_1}. \quad (22)$$

Относительное ускорение точки  $D$  находится из пропорции

$$\frac{l_{BC}}{l_{BD}} = \frac{bc}{bd} = \frac{a_{C(B)}}{a_{D(B)}}, \quad a_{D(B)} = \frac{l_{BD} \cdot a_{C(B)}}{l_{BC}}. \quad (23)$$

Абсолютное ускорение точки  $D$  (отрезок  $\pi d$ ) находится по теореме косинусов

$$a_D = \sqrt{a_B^2 + a_{D(B)}^2 - 2a_B a_{D(B)} \cos \theta_1}. \quad (24)$$

Относительное ускорение точки  $E$  находится из пропорции

$$\frac{l_{BC}}{l_{BE}} = \frac{bc}{be} = \frac{a_{C(B)}}{a_{E(B)}}, \quad a_{E(B)} = \frac{l_{BE} \cdot a_{C(B)}}{l_{BC}}, \quad (25)$$

где  $l_{BE}$  – расстояние между точками  $B$  и  $E$  звена  $BC$ , равное  $l_{BE} = \sqrt{(l_{BS_2})^2 + (l_{ES_2})^2}$ .

Абсолютное ускорение точки  $E$  (отрезок  $\pi e$ ) находится по теореме косинусов из  $\Delta \pi be$  (рисунок,  $v$ ):

$$a_E = \sqrt{a_B^2 + a_{E(B)}^2 - 2a_B a_{E(B)} \cos \xi}. \quad (26)$$

Здесь  $\cos \xi = \cos(\gamma + \theta_1) = \cos \gamma \cos \theta_1 - \sin \gamma \sin \theta_1$ ,  $\cos \gamma = \frac{l_{BS_2}}{l_{BE}}$ ;  $\sin \gamma = \frac{l_{ES_2}}{l_{BE}}$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты кинематического анализа кривошипно-ползунного механизма аналитическим методом с использованием метрических соотношений сведены в таблицу. Исходные данные: угловая скорость  $\omega_1 = 215 \text{ с}^{-1}$ ; длины звеньев:  $l_{AB} = 0,08 \text{ м}$ ;  $l_{BC} = 0,3 \text{ м}$ ;  $l_{CD} = l_{S_2E} = 0,05 \text{ м}$ ; координаты точек  $l_{BS_2} = 0,09 \text{ м}$ ; угловая координата  $\varphi = 30^\circ$ .

## Сравнительный анализ кинематических характеристик механизма

Результаты вычислений							
Скорости	$V_B$ 17,2 (17,2)	$V_C$ 10,79 (10,4)	$V_{S2}$ 14,09 (13,8)	$V_D$ 11,4 (11,2)	$V_E$ 11,04 (12,0)	$V_{C(B)}$ 14,94 (15,0)	$\omega_2$ 49,8 (50,0)
Ускорения	$a_B$ 3698 (3698)	$a_C$ 3880 (3700)	$a_{S2}$ 3649 (3650)	$a_D$ 4000 (3850)	$a_E$ 3969 (3950)	$a_{C(B)}$ 1917,79 (1900)	$\varepsilon_2$ 5892 (5833,3)

Примечание. Размерность линейной скорости м/с; размерность угловой скорости рад/с; размерность линейного ускорения м/с<sup>2</sup>; размерность углового ускорения рад/с<sup>2</sup>.

Сравнительный анализ кинематических характеристик механизма, полученных методом планов (скорости, ускорения в таблице даны в скобках) [4], показывает, что представленным в работе методом можно вычислять скорости и ускорения с любой заданной точностью.

### Заключение

Предложен аналитический метод определения основных кинематических характеристик плоского движения твердого тела с использованием метрических соотношений в планах скоростей и ускорений на примере кинематического анализа кривошипно-ползунного механизма, облегчающий освоение студентами учебного материала по кинематике плоского движения твердых тел (теоретическая механика), повышающий мотивацию учебной деятель-

ности. Простой алгоритм метода, высокая точность, наглядность позволит студентам решать не только учебные задачи, но и применять его в проектной деятельности.

### Список литературы

1. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики: учебное пособие для ВО: в 2 т. 12-е изд., стереотип. СПб.: Лань, 2020. 732 с.
2. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 1: Статика и кинематика: учебное пособие. 12-е изд., стереотип. СПб.: Лань, 2013. 672 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://e.lanbook.com> (дата обращения: 22.03.2021).
3. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики: Статика. Кинематика. Динамика: учеб. 16-е изд., стереотип. М.: КНОРУС, 2011. 603 с.
4. Глухов Б.В. Курс теории механизмов и машин: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2006. 388 с.
5. Седов С.А. Теория механизмов и машин: учебно-методическое пособие / Авт.-сост. С.А. Седов. Елабуга: Изд-во ЕИ(Ф) К(П)ФУ, 2017. 40 с.