

**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 = 0,578

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,258

№ 11 2022

Научный журнал
Scientific journal

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,578.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,258.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

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

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

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

Подписано в печать – 30.11.2022

Дата выхода номера – 30.12.2022

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 13,5

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2022/11

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

АДРЕНОБЛОКАТОРЫ ПРОПРАНОЛОЛ И ФЕНТОЛАМИН
МОДУЛИРУЮТ LPS-ИНДУЦИРОВАННУЮ ВНУТРИКЛЕТОЧНУЮ
СИГНАЛИЗАЦИЮ НЕЙТРОФИЛОВ ЧЕЛОВЕКА

Юринская М.М., Винокуров М.Г., Сусликов А.В. 7

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРО- И ПРЕБИОТИКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОСАХАРИДЫ,
У ДЕТЕЙ С «СЕКРЕТОРНЫМ» И «НЕСЕКРЕТОРНЫМ»
ПО АНТИГЕНУ «Н» ФЕНОТИПАМИ ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИИ

Косякова Н.И., Андреева Л.А., Балясникова В.С., Панкратова Е.В. 13

АЛЬФА-СТРОБИРОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ МОЗГА
И СИНЕСТЕЗИИ ПРИ ДОМИНИРУЮЩЕМ ТИПЕ ВОСПРИЯТИЯ

Кузьяев А.Е., Коекина О.И. 19

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ПРИ ОСТЕОАРТРИТЕ ПЛЕЧЕВОГО
СУСТАВА В УСЛОВИЯХ ПОЛИКЛИНИКИ

Майко О.Ю., Туменова Г.Б. 30

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

НАВИГАЦИОННАЯ АССИСТЕНЦИЯ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ
ТЯЖЕЛОГО НЕЙРОМЫШЕЧНОГО ЛОРДОСКОЛИОЗА У РЕБЕНКА
С ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Хусаинов Н.О., Соколова В.В. 36

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ИСТИННАЯ ПОЛИЦИТЕМИЯ (ЭРИТРЕМИЯ, БОЛЕЗНЬ ВАКЕЗА)

Шамитова Е.Н., Яковлева Л.М., Салахова Г.Р., Филиппов И.Ю. 42

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА
ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ
ХЛОРЕЛЛЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Бурдышева О.В., Шолгин Е.С., Фазилова А.Д., Баяндин Д.В. 48

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ НА ЗАВОДАХ

Вахитова Л.Ф., Жданов Р.Р., Михайлова В.А., Аксенов С.Г. 54

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ВОЗДУХЕ
ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Гаврилов Т.А. 59

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МИНИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРИПУСКОВ В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Масягин В.Б., Денисова Е.Ю., Артюх Р.Л. 65

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ
МОРСКОЙ ЗОНДИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ
И БУКСИРУЕМЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОС

Оленин А.Л. 72

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ НАВИГАЦИИ
ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ АППАРАТОВ

Розман Б.Я., Елкин А.В. 77

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГУМИНОВЫХ
ПРЕКУРСОРОВ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ

Жаркынбаева Р.А., Худайбергенова Э.М., Ли С.П. 83

ЭФФЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ 6-[¹⁸F]ФТОРНИКОТИН НИТРИЛ ОКСИДА
([¹⁸F]FNNO), РАДИОСИНТОНА ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ ФТОРА-18
В БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Орловская В.В., Федорова О.С., Красикова Р.Н. 91

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ГОРНЫХ ПОРОД
В СВЧ-ПОЛЯХ

Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Белекова Ж.Ш. 97

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЖИЗНЬ, ПОСВЯЩЕННАЯ АЛМАЗАМ
(К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ГАЛИНЫ ПЕТРОВНЫ КУДРЯВЦЕВОЙ)

Копчиков М.Б., Бовкун А.В. 103

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLE

- ADRENOBLOCKERS PROPRANOLOL AND FENTOLAMINE
MODULATE LPS-INDUCED INTRACELLULAR SIGNALING
OF HUMAN NEUTROPHILS
Yurinskaya M.M., Vinokurov M.G., Suslikov A.V. 7

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

- ESTIMATION OF EFFECTIVENESS OF OLIGOSACCHARIDE-
CONTAINING PRO- AND PREBIOTICS IN CHILDREN
WITH “SECRETOR” AND “NON-SECRETOR” PHENOTYPES
OF FOOD ALLERGY ACCORDING TO H-ANTIGEN STATUS
Kosyakova N.I., Andreeva L.A., Balyasnikova V.S., Pankratova E.V. 13

- ALPHA STROBING OF SENSOR SIGNALS OF THE BRAIN
AND SYNESTHESIA IN THE DOMINANT TYPE OF PERCEPTION
Kuzyaev A.E., Koekina O.I. 19

- ASSESSMENT OF THE PARAMETERS OF THE QUALITY OF LIFE
IN OSTEOARTHRITIS OF THE SHOULDER JOINT IN A POLYCLINIC
Maiko O.Yu., Tukenova G.B. 30

CLINICAL CASE

- NAVIGATION ASSISTANCE IN THE SURGICAL TREATMENT OF SEVERE
NEUROMUSCULAR LORDOSCOLIOSIS IN A CHILD WITH CEREBRAL PALSY
Kokushin D.N., Vissarionov S.V., Khusainov N.O., Sokolova V.V. 36

REVIEW

- TRUE POLYCYTHEMIA (ERYTHREMIA, VAQUEZ’S DISEASE)
Shamitova E.N., Yakovleva L.M., Salakhova G.R., Filippov I.Yu. 42

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

- DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED RADIATION SOURCE
FOR CULTIVATION OF CHLORELLA MICROALGAE
IN LABORATORY CONDITIONS
Burdysheva O.V., Sholgin E.S., Fazilova A.D., Bayandin D.V. 48

- FEATURES OF ENSURING FIRE SAFETY IN FACTORIES
Vakhitova L.F., Zhdanov R.R., Mikhailova V.A., Aksenov S.G. 54

- CHANGES IN THE CONTENT OF CARBON DIOXIDE IN THE AIR DURING
THE DECOMPOSITION OF WOOD OF ARCHITECTURAL MONUMENTS
Gavrilov T.A. 59

APPLICATION OF THE DIMENSIONAL ANALYSIS METHODOLOGY TO ENSURE MINIMUM VALUES OF OPERATING ALLOWANCES IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL PROCESSING <i>Masyagin V.B., Denisova E.Yu., Artyukh R.L.</i>	65
DEPTH MEASUREMENT OF MARINE SOUNDING EQUIPMENT AND TOWED GEOPHYSICAL LINES <i>Olenin A.L.</i>	72
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF UNDERWATER NAVIGATION SYSTEMS FOR REMOTE-CONTROLLED VEHICLES <i>Rozman B.Ya., Elkin A.V.</i>	77
CHEMICAL SCIENCES	
ARTICLES	
CHARACTERISTIC FEATURES OF HUMIC PRECURSORS OF IRON-CONTAINING PREPARATIONS <i>Zharkynbaeva R.A., Khudaybergenova E.M., Li S.P.</i>	83
EFFECTIVE SYNTHESIS OF 6-[¹⁸ F]FLUORONICOTINE NITRILE OXIDE ([¹⁸ F]FNNO), RADIOSYNTHONE FOR THE INTRODUCTION OF FLUORINE-18 INTO BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS <i>Orlovskaya V.V., Fedorova O.S., Krasikova R.N.</i>	91
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES	
ARTICLE	
STRUCTURAL ANALYSIS OF ROCK MINERAL GRAINS IN SUPERHIGH-FREQUENCY FIELDS <i>Sultanalieva R.M., Konushbaeva A.T., Belekova Zh.Sh.</i>	97
GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES	
LIFE, DEDICATED TO DIAMONDS (TO THE 75TH ANNIVERSARY OF THE BIRTHDAY OF GALINA PETROVNA KUDRYAVTSEVA) <i>Kopchikov M.B., Bovkun A.V.</i>	103

СТАТЬЯ

УДК 616.12-008.46:612.017.11:612.112.91

**АДРЕНОБЛОКАТОРЫ ПРОПРАНОЛОЛ И ФЕНТОЛАМИН
МОДУЛИРУЮТ LPS-ИНДУЦИРОВАННУЮ ВНУТРИКЛЕТОЧНУЮ
СИГНАЛИЗАЦИЮ НЕЙТРОФИЛОВ ЧЕЛОВЕКА**

^{1,2}Юринская М.М., ^{1,2}Винокуров М.Г., ²Сусликов А.В.

¹*Институт биофизики клетки Российской академии наук – обособленное подразделение
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр “Пушчинский научный центр
биологических исследований Российской академии наук”», Пушчино, e-mail: mg-vinokurov@mail.ru;*

²*Федеральное государственное автономное учреждение здравоохранения Больница
Пушчинского научного центра Российской академии наук, Пушчино*

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) является актуальной проблемой здравоохранения и одной из основных причин смертности во всем мире. В публикации приведена оценка влияния адреноблокаторов фентоламина и пропранолола на апоптоз и продукцию активных форм кислорода (АФК) нейтрофилов у больных хронической сердечной недостаточностью при действии липополисахаридов. Измерение продуцируемых нейтрофилами АФК производили методом хемилюминесценции. Жизнеспособность и апоптоз нейтрофилов определяли методом флуоресцентной микроскопии. Участие отдельных сигнальных путей (p38MAPK, PI3K, ERK) в механизме действия адреноблокаторов изучали с использованием специфических ингибиторов. Установлено, что пропранолол в диапазоне концентраций от 10 мкМ до 400 мкМ увеличивает продукцию АФК нейтрофилами – как контрольных клеток, так и при действии LPS. Фентоламин в этом же диапазоне концентраций значительно снижает продукцию АФК нейтрофилами. Было выявлено, что среди использованных ингибиторов наиболее эффективно снижают пропранолол-индуцированную продукцию АФК нейтрофилами SB203580, Wortmannin и LY294002, в то время как PD98059 практически не ингибирует продукцию АФК клеток как с LPS, так и без него. Пропранолол и фентоламин ускоряют апоптоз нейтрофилов в присутствии и отсутствии LPS. Результаты, полученные с использованием ингибиторов сигнальных путей действия LPS на нейтрофилы, показали, что в механизме активации клеток пропранололом важную роль играют сигнальные пути с участием p38MAPK и PI3K. ERK не участвуют в активации клеток пропранололом. В механизме действия фентоламина значимая роль принадлежит p38MAPK, ERK, при этом действие PI3K менее выражено.

Ключевые слова: нейтрофилы человека, фентоламин, пропранолол, липополисахариды, внутриклеточная сигнализация

**ADRENOBLOCKERS PROPRANOLOL AND FENTOLAMINE
MODULATE LPS-INDUCED INTRACELLULAR SIGNALING
OF HUMAN NEUTROPHILS**

^{1,2}Yurinskaya M.M., ^{1,2}Vinokurov M.G., ²Suslikov A.V.

¹*Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, e-mail: mg-vinokurov@mail.ru;*

²*Hospital of the Pushchino Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Pushchino*

Chronic heart failure (CHF) is an urgent public health problem and one of the main causes of death worldwide. The publication provides an assessment of the effect of adreno blockers phentolamine and propranolol on apoptosis and the production of reactive oxygen species (ROS) of neutrophils in patients with chronic heart failure under the action of lipopolysaccharides. Measurement of ROS produced by neutrophils was performed by chemiluminescence. Viability and apoptosis of neutrophils were determined by fluorescence microscopy. The participation of individual signaling pathways (p38MAPK, PI3K, ERK) in the mechanism of action of adreno blockers was studied using specific inhibitors. It was found that propranolol in the concentration range from 10 μM to 400 μM increases the production of ROS by neutrophils, both in control cells and under the action of LPS. Phentolamine in the same range of concentrations significantly reduces the production of ROS by neutrophils. It was found that among the inhibitors used, the most effective decrease in propranolol-induced ROS production by neutrophils SB203580, Wortmannin, and LY294002, while PD98059 practically does not inhibit ROS production in cells with or without LPS. Propranolol and phentolamine accelerate neutrophil apoptosis in the presence and absence of LPS. The results obtained using inhibitors of LPS signaling pathways on neutrophils showed that signaling pathways involving p38MAPK and PI3K play an important role in the mechanism of cell activation by propranolol. ERKs are not involved in cell activation by propranolol. In the mechanism of action of phentolamine, a significant role belongs to p38MAPK, ERK, while the effect of PI3K is less pronounced.

Keywords: human neutrophils, phentolamine, propranolol, lipopolysaccharides, intracellular signaling

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) является актуальной проблемой здравоохранения и одной из основных причин смертности во всем мире. Исследования последнего десятилетия показали, что патофизиология сердечной недостаточности (СН) в значительной степени свя-

зана с нарушением перфузии кишечника, что приводит к дисфункции кишечного эндотелиального барьера, который поддерживается несколькими механизмами хорошо сбалансированной кишечной микробиоты [1]. У пациентов с СН происходит снижение кровотока в кишечном эндотелии из-за сни-

жения сердечного выброса. Это, в свою очередь, приводит к ишемии кишечной стенки и увеличению проницаемости из-за структурного нарушения барьерной функции кишечного эпителия [2]. Кроме того, системный застой у пациентов с СН может вызвать отек кишечной стенки, что также приводит к повышению кишечной проницаемости, которая, в свою очередь, увеличивает транслокацию эндотоксинов (липополисахаридов (LPS)) и других компонентов, продуцируемых грамотрицательными бактериями, в системный кровоток, вызывая эндотоксемию [3]. Этот процесс может дополнительно активировать синтез цитокинов и вызвать системное воспаление, которое, в свою очередь, способствует прогрессированию сердечной недостаточности [4].

Действие LPS реализуется благодаря взаимодействию с Толл-подобными рецепторами 4 (Toll-like receptor 4, TLR4) в клетках врожденного иммунитета (в том числе и нейтрофилах), клетках эндотелия, а также в кардиомиоцитах. В ответ на действие LPS клетки различных тканей организма продуцируют активные формы кислорода, цитокины. Под действием LPS происходит ингибирование апоптоза нейтрофилов [5]. Нейтрофилы традиционно рассматриваются как терминально дифференцированные короткоживущие фагоциты с довольно неконтролируемым образом действий. Однако в последнее время было выяснено, что эти клетки могут выступать в качестве регуляторов воспалительных процессов в сердечно-сосудистой системе. Показано, что после ишемического инсульта нейтрофилы усиливают дисфункцию клеток эндотелия за счет секреции нейтрофильной эластазы и активных форм кислорода (АФК). Нейтрофильные внеклеточные ловушки (Neutrophil Extracellular Traps (NET)) способствуют росту тромбов, NET ускоряют гибель нейтрофилов. В то же время установлено, что в местах повреждения артерий активированные нейтрофилы посредством пептида кателицидина, сосудистого эндотелиального фактора роста и эпидермального фактора роста способствуют восстановлению клеток эндотелия. Нейтрофилы также влияют на заживление сердца после инфаркта миокарда, стимулируя переход макрофагов в сторону репаративного фенотипа (который активно фагоцитирует поврежденные клетки). Кроме этого, нейтрофилы, циркулирующие в сердце, секретируют аннексин А1, который способствует дифференцировке макрофагов в макрофаги проангиогенного фенотипа, что, в свою очередь, способствует ангиогенезу в ишемизированном сердце [6].

При сердечно-сосудистых патологиях важную роль играют адренорецепторы. В лечебной практике достаточно широко используются неселективные блокаторы адренорецепторов – пропранолол (блокирует β_1 - и β_2 -адренорецепторы) и фентоламин (блокирует α_1 - и α_2 -адренорецепторы). Пропранолол эффективно применяется при лечении СН у детей [7]. Кроме того, пропранолол снижает LPS- индуцированную секрецию TNF α моноцитами человека [8]; снижает экспрессию матриксной металлопротеазы 9 (играет важную роль в патогенезе атеросклероза), экспрессия которой увеличивается при действии норадреналина и LPS [9]. Фентоламин, как и пропранолол, эффективно используется при лечении СН в педиатрии [10]. Однако механизмы действия пропранолола и фентоламина на генерацию АФК и апоптоз нейтрофилов при действии LPS остаются недостаточно исследованными.

Целью исследования явилось изучение влияния адреноблокаторов фентоламина и пропранолола на апоптоз и продукцию АФК нейтрофилами больных хронической сердечной недостаточностью при действии липополисахаридов.

Материалы и методы исследования

Нейтрофилы выделяли из крови больных, которые принимали участие в исследовании, в которое были включены согласно критериям включения (возраст ≥ 35 лет, III функциональный класс ХСН по классификации New York Heart Association Functional Classification, фракция выброса $\leq 40\%$). Кровь из локтевой вены забирали в пробирки системы «Vacutainer» с Na-гепарином и затем получали фракцию нейтрофилов с использованием фиколла, как описано в [11]. Изолированные нейтрофилы ресуспендировали в полной культуральной среде DMEM, содержащей 10% термоинактивированной эмбриональной телячьей сыворотки, а также пенициллин (100 ЕД/мл), сульфат стрептомицина (100 мг/мл) и глутамин 2,0 мМ. Чистота нейтрофилов составила 98%, жизнеспособность – 99%.

Образование АФК нейтрофилами измеряли методом хемилюминесценции [11].

Для выявления путей внутриклеточной сигнализации, участвующих в механизмах действия исследуемых адреноблокаторов, клетки инкубировали с ингибиторами фосфатидил инозитол 3 киназы (PI3K) (LY294002 и Wortmannin), экстраклеточных регуляторных киназ (ERK) (PD98059), митогенактивируемой p38 киназы (p38MAPK) 30 минут. Затем к клеткам добавляли адреноблокаторы и в конце – LPS. Апоптотическую

гибель нейтрофилов определяли, как описано ранее [12]. Статистическую обработку данных проводили в программе SigmaPlot.

Результаты исследования и их обсуждение

Первоначально было изучено воздействие пропранолола и фентоламина на уровень АФК, генерируемых нейтрофилами (рис. 1). Полученные результаты показали, что пропранолол в диапазоне концентраций от 25 до 400 мкМ дозозависимо увеличивал продукцию АФК (начиная с концентрации 50 мкМ). При концентрации пропранолола 200–400 мкМ продукция АФК нейтрофилами достигала максимальных значений (300%) (рис. 1а), в то время как активация продукции АФК нейтрофилами при действии LPS составляла 250% (рис. 1б). В присутствии LPS с ростом концентрации пропранолола происходило еще большее увеличение генерации АФК (~3,5 раза при концентрации от 100 до 400 мкМ) нейтрофилами, начиная с концентрации 50 мкМ пропранолола (рис. 1б). Однако отношение величины ХЛ в присутствии LPS к величине ХЛ без LPS с ростом концентрации пропранолола уменьшалось, достигая величины 1,17 (по сравнению с соотношением в отсутствие пропранолола, равным 2,5) (рис. 1а, 1б).

В отличие от пропранолола, фентоламин в диапазоне концентраций от 0,1 до 400 мкМ дозозависимо снижал продукцию АФК нейтрофилами, начиная с концентрации 20 мкМ, достигая минимальных значений при концентрации фентоламина 200–400 мкМ

(рис. 1в). В присутствии LPS с ростом концентрации фентоламина происходило уменьшение генерации АФК нейтрофилами, начиная с концентрации 10 мкМ фентоламина (рис. 1г). Однако отношение величины ХЛ в присутствии LPS к величине ХЛ в отсутствие LPS с ростом концентрации фентоламина сохранялось (2,27 раза при концентрации 400 мкМ фентоламина) (рис. 1в, 1г).

Во второй серии экспериментов для выявления определяющих механизмов действия адrenoблокаторов было изучено влияние специфических ингибиторов сигнальных путей активации клеток при действии липополисахаридов на генерацию АФК нейтрофилами в присутствии пропранолола и фентоламина. Было установлено, что SB203580 (в присутствии и отсутствие LPS) редуцировал уровень АФК нейтрофилов почти до уровня АФК контроля (рис. 2, SB). PD98059 ~ на 10% редуцировал уровень АФК нейтрофилов в присутствии пропранолола и LPS (рис. 2, PD). Ингибиторы фосфатидил инозитол 3 киназы (Wortmannin и LY294002) снижали уровень АФК контрольных и активированных LPS нейтрофилов (рис. 2, LY, W, а, б). При этом отношение величины уровней АФК в присутствии LPS к величине уровней АФК без LPS для Wortmannin и LY294002 было меньше 2. Причем у Wortmannin эта величина была меньше, чем у LY294002, и составляла ~ 1,5. В присутствии пропранолола также происходило значительное снижение продукции АФК (рис. 2, W, в, г) при действии этих ингибиторов.

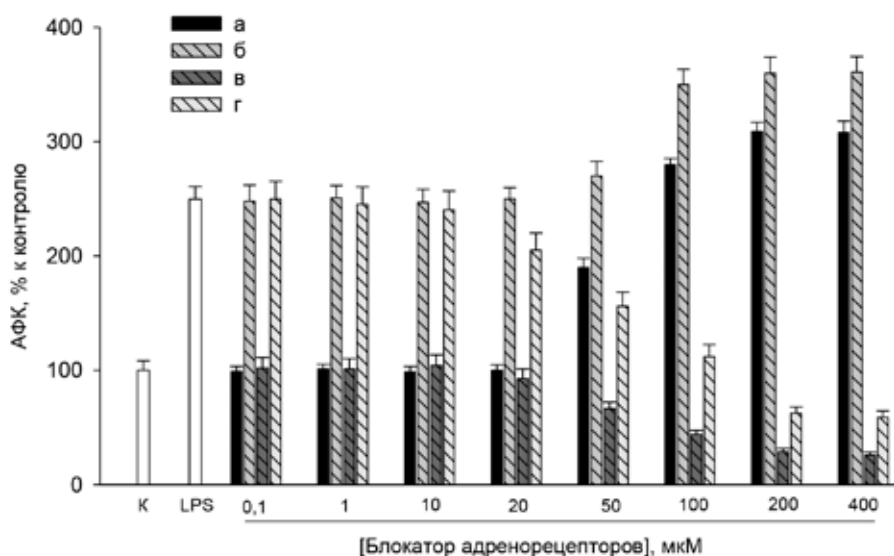


Рис. 1. Воздействие блокаторов аднорецепторов на уровень АФК, продуцируемых нейтрофилами при действии LPS. а, б – пропранолол; в, г – фентоламин; а, в – нейтрофилы без LPS; б, г – нейтрофилы вместе с LPS (20 нг/мл LPS). n=12, p<0,005

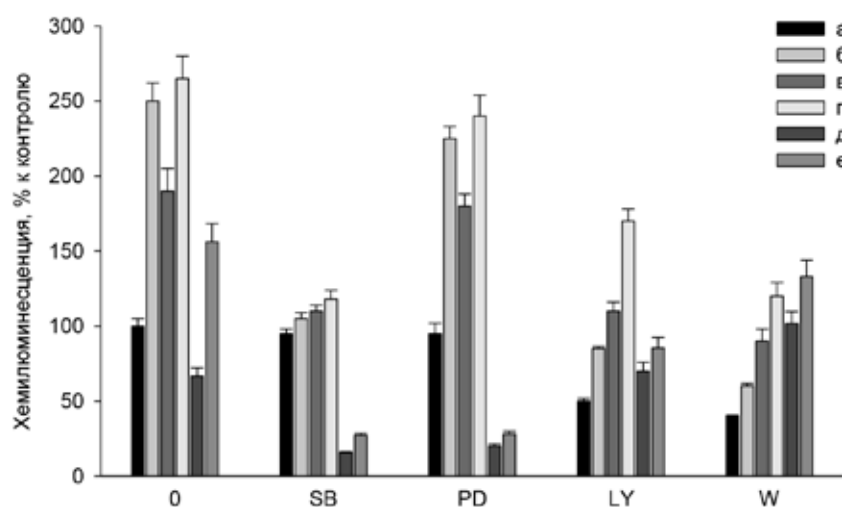


Рис. 2. Действие ингибиторов сигнальных путей на уровень АФК, генерируемых нейтрофилами, при добавлении к клеткам 50 мкМ пропранолола (Pro), 50 мкМ фентоламина (Phe) и LPS; а – пробы без Pro, Phe и LPS; б – пробы с 20 нг/мл LPS; в – пробы с Pro; г – пробы с Pro и 20 нг/мл LPS; д – пробы с Phe; е – пробы с Phe и 20 нг/мл LPS; 0 – пробы без ингибиторов. SB – 0,5 мкМ SB203580; PD – 10 мкМ PD98059; LY – 1 мкМ LY 294002; W – 10 нМ Wortmannin. $n=12$, $p<0,005$

Ингибиторы p38MAPK и ERK значительно редуцируют уровень АФК нейтрофилов в отсутствие LPS (~ в 3–4 раза) и в присутствии LPS (~ в 5–6 раз) (рис. 2, SB, PD, д, е). Ингибиторы PI3K не ингибируют действие фентоламина на контрольные клетки и незначительно снижают уровень АФК нейтрофилов в присутствии LPS (рис. 2, LY, W, д, е).

Таким образом, полученные результаты показали, что среди исследованных ингибиторов сигнальных путей наиболее значимо уровень АФК нейтрофилов в присутствии пропранолола снижают ингибиторы p38MAPK и PI3K. Ингибитор ERK не снижает уровень АФК нейтрофилов как в присутствии, так и в отсутствие LPS (рис. 2, PD, в, г сравнить с рис. 2, 0, в, г). В присутствии фентоламина наиболее значимо уровень АФК нейтрофилов снижают ингибиторы p38MAPK ERK. Ингибиторы PI3K действуют менее эффективно.

В третьей серии экспериментов было исследовано действие аденоблокаторов на апоптоз нейтрофилов. Полученные результаты показали, что пропранолол вызывает значительное увеличение процента апоптотических нейтрофилов по сравнению с контролем. Пропранолол уменьшает ингибирование апоптоза нейтрофилов, индуцированное LPS. Фентоламин незначительно увеличивает апоптоз нейтрофилов (рис. 3).

Ответ нейтрофилов на эндотоксины можно условно разделить на три стадии. На начальной стадии вслед за активацией TLR4 –

сигнального пути происходит активация НАДФН-оксидазы, затем в течение нескольких часов развивается секреция цитокинов, в более поздней стадии проявляются изменения в регуляции апоптоза клеток. Наши результаты показали, что фентоламин значительно снижает уровень АФК, генерируемых нейтрофилами в присутствии LPS (рис. 1в, 1г). Первым из цитокинов обычно секретруется TNF α . В экспериментах на мышинных макрофагах пропранолол и фентоламин не снижали LPS-индуцированную продукцию TNF α , но несколько снижали продукцию этого цитокина при совместном действии норадреналина и LPS. Показано, что ингибиторы JNK, ERK, p38MAPK могут частично снижать секрецию TNF α , индуцированную норадреналином [13].

Известно, что в активации секреции TNF α моноцитами человека при действии LPS ключевую роль играет путь PI3K→Akt (RAC-alpha serine/threonine-protein kinase, Protein kinase B alpha), который может инактивировать сигнальные пути с участием p38MAPK, JNK и ERK [5]. В наших экспериментах основное различие в сигнальных путях пропранолола и фентоламина приходится на ERK. Для фентоламина ингибиторы LY и Wortmannin значительно слабее ингибируют пробы (рис. 3, LY294002, д, е; рис. 3, W, д, е) по сравнению с аналогичными пробами при действии SB (рис. 3, SB, д, е). Это может говорить о некоторой отрицательной регуляции для фентоламина по этим сигнальным путям.

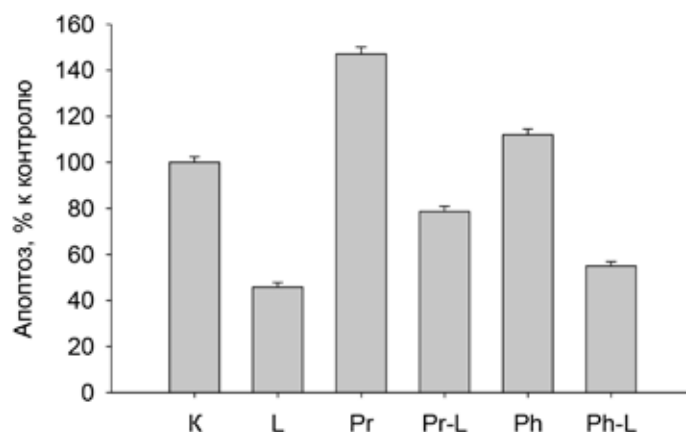


Рис. 3. Влияние пропранолола, фенотолamina и LPS на апоптоз нейтрофилов.

K – контроль, L – 100 нг/мл LPS, Pr – 200 мкМ пропранолола, Pr-L – последовательное добавление к клеткам пропранолола и LPS, Ph – 200 мкМ фенотолamina, Ph-L последовательное добавление к клеткам фенотолamina и LPS. n=12, p<0,005

Кроме того, LY294002 ингибирует только PI3K, а Wortmannin – PI3K и Akt. В экспериментах на фибробластах животных было показано, что фенотолamin эффективно снижает секрецию цитокинов: IL-1β, IL-6 и IL-8 [14], индуцированную LPS.

Одним из механизмов активации апоптоза нейтрофилов являются АФК. Наши эксперименты показали, что пропранолол увеличивает продукцию АФК нейтрофилами, что, возможно, является одной из причин увеличения апоптоза этих клеток в наших экспериментах. Также пропранолол, увеличивая апоптотическую гибель нейтрофилов в присутствии LPS, будет способствовать снижению времени циркуляции этих клеток при воспалительных патологиях. Фенотолamin оказывает на апоптоз менее выраженное действие, чем пропранолол, однако он эффективно снижает продукцию АФК этими клетками в присутствии LPS. Вероятно, фенотолamin активирует апоптоз путем снижения мембранного потенциала митохондрий с последующей активацией каспаз, как это было показано в некоторых типах клеток [15].

Заклучение

Полученные результаты показали, что пропранолол увеличивает уровень АФК в диапазоне концентраций от 50 мкМ до 400 мкМ. В присутствии ингибиторов р38МАРК и PI3K происходит значительное снижение пропранолол-индуцированной продукции АФК нейтрофилами, что указывает на участие этих ферментов в активации клеток под действием пропранолола. В отличие от пропранолола, фен-

толамин значительно снижает продукцию АФК клетками в диапазоне концентраций от 20 мкМ до 400 мкМ. В механизме действия пропранолола большое значение имеют р38МАРК и PI3K. В механизме действия фенотолamina значимая роль принадлежит р38МАРК, ERK, при этом действие PI3K менее выражено.

Работа выполнялась в рамках госзадания по теме 0576-2020-0005, одобрена ЛЭК БИПЦ РАН, протокол № 14 от 04.09.2018 г.

Список литературы

1. Tang W.H., Kitai T., Hazen S.L. Gut Microbiota in Cardiovascular Health and Disease. *Circ Res.* 2017. Vol. 120. No. 7. P. 1183-1196.
2. Di Tommaso N., Gasbarrini A., Ponziani F.R. Intestinal Barrier in Human Health and Disease. *Int J Environ Res Public Health.* 2021. Vol. 18. No. 23. P. 12836-12858.
3. Ghosh S.S., Wang J., Yannie P.J., Ghosh S. Intestinal Barrier Dysfunction, LPS Translocation, and Disease Development. *J Endocr Soc.* 2020. Vol. 4. No. P. bvz039.
4. Hanna A., Frangogiannis N.G. Inflammatory Cytokines and Chemokines as Therapeutic Targets in Heart Failure. *Cardiovasc Drugs Ther.* 2020. Vol. 34. No. 6. P. 849-863.
5. Ciesielska A., Matyjek M., Kwiatkowska K. TLR4 and CD14 trafficking and its influence on LPS-induced pro-inflammatory signaling. *Cell Mol Life Sci.* 2021. Vol. 78. No. 4. P. 1233-1261.
6. Silvestre-Roig C., Braster Q., Ortega-Gomez A., Soehnlein O. Neutrophils as regulators of cardiovascular inflammation. *Nat Rev Cardiol.* 2020. Vol. 17. No. 6. P. 327-340.
7. Alabed S., Sabouni A., Al Dakhoul S., Bdaiwi Y. Beta-blockers for congestive heart failure in children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020. Vol 7. No. 7. P. CD007037.
8. Ng T.M., Toews M.L. Impaired norepinephrine regulation of monocyte inflammatory cytokine balance in heart failure. *World J Cardiol.* 2016. Vol. 8. No. 10. P. 584-589.
9. Yin X., Zhou L., Han F., Han J., Zhang Y., Sun Z., Zhao W., Wang Z., Zheng L. Beta-adrenoceptor Activation by Norepinephrine Enhances Lipopolysaccharide-induced Matrix Metalloproteinase-9 Expression Through the ERK/JNK-c-Fos

Pathway in Human THP-1 Cells. *J Atheroscler Thromb.* 2017. Vol. 24. No. 1. P. 55-67.

10. Hatt A. Phentolamine continuous infusion in a pediatric patient with uncontrolled hypertension. *Am J Health Syst Pharm.* 2021. Vol. 78. No. 13. P. 1195-1199.

11. Rozhkova E., Yurinskaya M., Zatsepina O., Garbuz D., Karpov V., Surkov S., Murashev A., Ostrov V., Margulis B., Evgen'ev M., Vinokurov M. Exogenous mammalian extracellular HSP70 reduces endotoxin manifestations at the cellular and organism levels. *Ann N Y Acad Sci.* 2010. Vol. 1197. P. 94-107.

12. Yurinskaya M.M., Mitkevich V.A., Kozin S.A., Evgen'ev M.B., Makarov A.A., Vinokurov M.G. HSP70 protects human neuroblastoma cells from apoptosis and oxidative stress induced by amyloid peptide isoAsp7-A β (1-42). *Cell Death Dis.* 2015. Vol. 6. No. 11. P. e1977.

13. Huang J.L., Zhang Y.L., Wang C.C., Zhou J.R., Ma Q., Wang X., Shen X.H., Jiang C.L. Enhanced phosphorylation of MAPKs by NE promotes TNF- α production by macrophage through α adrenergic receptor. *Inflammation.* 2012. Vol. 35. No. 2. P. 527-534.

14. Lu H., Xu M., Wang F., Liu S., Gu J., Lin S. Chronic stress enhances progression of periodontitis via α 1-adrenergic signaling: a potential target for periodontal disease therapy. *Exp Mol Med.* 2014. Vol. 46. P. e118.

15. Ho C.H., Hsu J.L., Liu S.P., Hsu L.C., Chang W.L., Chao C.C., Guh J.H. Repurposing of phentolamine as a potential anticancer agent against human castration-resistant prostate cancer: A central role on microtubule stabilization and mitochondrial apoptosis pathway. *Prostate.* 2015. Vol. 75. No. 13. P. 1454-1466.

СТАТЬИ

УДК 616-053.2-03

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРО- И ПРЕБИОТИКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОСАХАРИДЫ,
У ДЕТЕЙ С «СЕКРЕТОРНЫМ» И «НЕСЕКРЕТОРНЫМ»
ПО АНТИГЕНУ «Н» ФЕНОТИПАМИ ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИИ****Косякова Н.И., Андреева Л.А., Балясникова В.С., Панкратова Е.В.***Больница Пушчинского научного центра Российской академии наук, Пушчино,
e-mail: nelia_kosiakova@mail.ru*

Проведено изучение эффективности применения про- и пребиотиков, содержащих олигосахариды, в терапии детей с «секреторным» (n = 26) и «несекреторным» (n = 27) фенотипами по антигену «Н», с верифицированным диагнозом истинной пищевой аллергии. Результаты терапии оценивались по динамике выраженности кожных проявлений по индексу SCORAD, по уровню общего IgE, специфических IgE и специфических иммуноглобулинов G4 (sIgG4) в сыворотке крови, который рассматривался как маркер формирования толерантности к пищевым аллергенам. Данное исследование показало, что дети «несекреторного» фенотипа хуже отвечали на проводимую терапию, что подтверждает влияние «Н»-антигена на иммунный ответ. Уровень sIgG4 к белкам коровьего молока у них после курса пре- и пробиотиков с олигосахаридами на фоне базисной терапии оказался в 3,4 раза ниже, чем у детей «секреторного» фенотипа. Динамическое наблюдение в течение трех лет за пациентами с клинико-лабораторным подтверждением истинной пищевой аллергией показало, что включение в программу лечения пре- и пробиотиков с олигосахаридами обеспечило повышение эффективности общепринятой терапии и дает возможность быстрее сформировать у них толерантность к наиболее важным продуктам питания.

Ключевые слова: дети, пищевая аллергия, антиген «Н», пробиотики, пребиотики, олигосахариды, толерантность**ESTIMATION OF EFFECTIVENESS OF OLIGOSACCHARIDE-CONTAINING
PRO- AND PREBIOTICS IN CHILDREN
WITH “SECRETOR” AND “NON-SECRETOR” PHENOTYPES
OF FOOD ALLERGY ACCORDING TO H-ANTIGEN STATUS****Kosyakova N.I., Andreeva L.A., Balyasnikova V.S., Pankratova E.V.***Hospital of Puschino Scientific Centre RAS, Puschino, e-mail: nelia_kosiakova@mail.ru*

Effectiveness of oligosaccharide-containing pro- and prebiotics application in treatment of children with validated diagnosis of true food allergy with “secretor” (n = 26) and “non-secretor” (n = 27) H-antigen status was examined. The results of treatment were assessed by the dynamics of skin manifestation according to SCORAD index, by total IgE level, specific IgE levels and specific G4 immunoglobulins (sIgG4) in blood serum, which was considered as a marker of established tolerance to food allergens. The study showed that the children with “non-secretor” phenotype had poorer response to the treatment, which confirms the contribution of H-antigen into the immune response. The level of sIgG4 to cow milk proteins after the course of oligosaccharide-containing pre- and probiotics during the background therapy was 3.4-fold lower in this group than in the group of “secretor” phenotype. Dynamic observation of the patients with the true food allergy confirmed by clinical and laboratory diagnostics showed that inclusion of pre- and probiotics with oligosaccharides into the treatment schedule provided the increase of the efficacy of the conventional treatment and the opportunity for faster establishment of tolerance to the most important food components.

Keywords: children, food allergy, H-antigen, probiotics, prebiotics, oligosaccharides, tolerance

Распространенность клинических проявлений пищевой аллергии и пищевой непереносимости регистрируется чаще у детей раннего возраста, когда организм ребенка еще не способен сформировать толерантность к пищевому антигену/аллергену, и за последние годы не имеет тенденции к снижению [1]. Известно, что отсутствие способности к формированию толерантности свидетельствует об изменении иммунного ответа у генетически предрасположенных детей [2]. Экспериментальные работы на животных показали, что изменение функций нормальной микрофлоры нарушает выработку Th1 ответа, ведет к снижению

продукции IFN- γ и IgG2a. Одновременно активизируется Th2 ответ и усиливается аллергическое воспаление. Было показано, что именно кишечная микрофлора необходима для развития связанной с кишечником лимфоидной ткани (GALT), которая в свою очередь поддерживает иммунные реакции и развитие пищевой толерантности [3]. Важную роль в формировании и развитии нормальной иммунной системы ребенка, в развитии пищевой толерантности играет программирование кишечной микрофлоры со стороны организма матери, что контролируется, в частности, экспрессией генов фукозилтрансфераз FUT2 и FUT3, отвеча-

ющих за синтез структур гликопептидов антигенов групп крови: ABO («Н»-антиген) и Льюис-антиген [4]. Ген FUT2 может отличаться полиморфизмом, что ведет к изменению экспрессии фукозилированных олигосахаридов в грудном молоке у женщин и в муцинах слизистых оболочек [5]. Состав олигосахаридов грудного молока зависит от секреторного статуса кормящей женщины, а также от присутствия в генотипе матери «Н»-антигена и антигенов системы Lewis. Влияние указанных генетических факторов определяет профиль олигосахаридов грудного молока, слюны, специфичных для носителей той или иной группы крови [5, 6]. Ранее нами были показаны различия качественного и количественного изменения состава микрофлоры как у детей с «несекреторным» и «секреторным» фенотипами, так и у их матерей. Полученные данные у детей «несекреторного» фенотипа позволили рассматривать изменения количества продуктов метаболизма микрофлоры в качестве важных факторов дисбиоза слизистых полости рта и кишечника. Более выраженные нарушения в микробиоте полости рта и кишечника наблюдались у матерей детей «несекреторного» фенотипа, что могло создать предпосылки для изменения иммунного гомеостаза ребенка и негативно отразиться на формировании микробиоты кишечника. [7]. При пищевой аллергии происходит активация клеточного звена иммунитета, в результате которой усиливается синтез не только IgE, но и IgG1 и IgG4 антител. Роль IgG в случаях пищевой аллергии становится более значимой и связана с более высоким уровнем поступления аллергена через желудочно-кишечный тракт, в отличие от ингаляционной аллергии, которая связана с более низким уровнем экспозиции аллергена [8]. Полагают, что действие IgG может быть направлено на выведение антигенов, связанных с IgE [8]. Иммунопатологическая роль подклассов IgG различается. Считается, что функции IgG1 связаны с воспалительными реакциями Th1 типа, а IgG4 ассоциированы с IgE и Th2 ответом. Однако у детей с IgE опосредованной аллергией к белку коровьего молока (БКМ) выявляются повышенные уровни как IgG4, так и IgG1 [9]. Взаимосвязь IgG4 и пищи изучалась также в рамках клинических исследований для оценки эффективности оральной иммунотерапии. Формирование толерантности к таким аллергенам, как арахис или коровье молоко, сопровождалось повышением уровня sIgG к этим продуктам [10]. Благодаря активности Т-регуляторных клеток аллерген-специфические IgG4 образуются в процессе прохождения паци-

ентом аллерген-специфической иммунотерапии и ассоциированы с формированием толерантности в результате долгосрочного воздействия аллергена [11]. Многие исследователи в настоящее время подвергают сомнению диагностическое значение определения уровня IgG, но одновременно отмечают, что у больных с симптомами пищевой аллергии уровень данного класса антител выше, чем у здоровых лиц, при этом их уровень коррелирует с выраженностью клинической симптоматики [2]. Следовательно, можно считать, что IgG4 является маркером экспозиции к аллергену и, возможно, маркером развития толерантности. Внимание исследователей постоянно привлекает экосистема кишечника, которая могла бы стать мишенью для локального и системного влияния пробиотиков на ее функции при формировании пищевой толерантности [11, 12]. Литературные данные, в которых были обобщены результаты двенадцати исследований, не выявили выраженного эффекта пробиотиков в лечении атопического дерматита [13]. Далее внимание ученых привлекли пребиотики и в первую очередь поддающиеся ферментации олигосахариды, которые могут способствовать колонизации кишечника бифидобактериями [13, 14]. Результаты исследований по применению таких пребиотиков по время беременности показали способность защитить ребенка от реализации аллергии [15], что может быть обусловлено влиянием пребиотиков как на микробиоценоз матери, на метаболизм короткоцепочечных жирных кислот во время развития плода, так и на состав грудного молока [15]. Наличие большого количества олигосахаридов в грудном молоке предопределило их использование в составе детских молочных смесей. В 2017 г. Всемирная организация по аллергии выпустила рекомендации по использованию пребиотиков у детей с повышенным риском развития аллергии. Рекомендации основаны на результатах исследований влияния пребиотиков на микробиом кишечника, нарушение состава и функций которого предрасполагает к развитию аллергии [16]. Таким образом, литературные данные подтверждают, что с профилактической целью пре- и пробиотики могут применяться как у беременных и кормящих женщин, так и у детей, которых относят к группе риска по развитию аллергических заболеваний.

Цель работы – изучить эффективность применения про- и пребиотиков, содержащих олигосахариды в терапии детей с «секреторным» и «несекреторным» фенотипами по антигену «Н».

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе Больницы Пущинского научного центра РАН в рамках госзадания № 075-01406-20-01 по программе № 0576-2020-0003, одобренной локальным этическим комитетом Б ПНЦ РАН, протокол № 16 от 20.11.2019 г. Все родители детей, включенных в исследование, подписывали информированное согласие. Ранее из 234 детей в возрасте от 0 до 3 лет, с клиническими проявлениями пищевой непереносимости и имеющих отягощенный аллергологический и акушерский анамнезы, у 104 детей была установлена истинная, IgE-зависимая, пищевая аллергия [7]. При исследовании «Н»-антигена слюны у 19 детей и их матерей был определен «несекреторный» фенотип. Далее при дополнительном обследовании эту группу детей дополнили еще 8 детей с негативным результатом «Н»-антигена в слюне. Все дети с «несекреторным» фенотипом составили первую группу наблюдения ($n = 27$). Методом случай-контроль была сформирована вторая группа наблюдения ($n = 26$), в которую вошли дети «секреторного» фенотипа, также в возрасте от 0 до 3 лет с верифицированным диагнозом IgE-зависимой пищевой аллергии (ПА). В исследование не включались дети с текущим обострением кожных и респираторных проявлений, с лактазной недостаточностью, целиакией, другими воспалительными заболеваниями кишечника. В зависимости от назначения пре- и пробиотика с олигосахаридами детей первой и второй групп наблюдения разбили на подгруппы:

В первую группу «а» вошли дети ($n = 12$) «несекреторного» фенотипа, не получавшие биопрепараты, в первую группу «б» ($n = 15$) – дети «несекреторного» фенотипа, получавшие биопрепараты.

Во вторую группу «а» вошли дети ($n = 11$) «секреторного» фенотипа, не получавшие биопрепараты, и во вторую группу «б» ($n = 15$) – дети «секреторного» фенотипа, получавшие биопрепараты.

В группу контроля были включены условно здоровые дети ($n = 10$) в возрасте от 0 до 3 лет без клинико-лабораторного подтверждения аллергических заболеваний. Все дети сформированных групп, включенных в исследование, наблюдались в динамике с 2019 по 2022 г., и, таким образом, с 2019 по 2022 г. под динамическим наблюдением находилось 53 ребенка с преимущественно кожными проявлениями и верифицированным диагнозом пищевой, IgE-зависимой аллергии. Стандартные исследования биологического материала проводили в клинико-диагностической и бактериологической лабораториях Б ПНЦ РАН

по методикам, утвержденным МЗ РФ. Уровень общего IgE в сыворотке крови детей определяли турбидиметрическим методом; специфический IgE (педиатрическая панель, атопическая панель) – хемилюминесцентным методом, с использованием наборов реагентов и тест-панелей на приборе OPTIGEN, Hitachi (Япония). Уровень специфических IgG4 исследовали в сыворотке крови детей методом ИФА с использованием набора реагентов «ИФА-Лактгест», разработанного в Медицинском научно-исследовательском центре «Медиан» (патент РФ 2006126792/15/029074/ от 24 июля 2006 г., регистрационное удостоверение ФСР 2008/03083 от 30 июля 2008 г.) на иммуноферментном анализаторе Stat Fax – 2100. Определение «Н»-антигена в слюне проводили методом ИФА с использованием набора реагентов «Группоспот» (ООО «Гематолог», Россия) на иммуноферментном анализаторе MULTISKAN FC (Thermo Scientific Microplate Reader, США). Оценка эффективности проводимой терапии осуществлялась по динамике выраженности кожных проявлений у детей (по индексу SCORAD), по уровню общего IgE, специфических IgE и специфических IgG4 в сыворотке крови. Статистическая обработка проводилась с использованием пакетов статистических программ Statistica 8. Отличия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Как следует из литературных данных, характер вскармливания детей до года – один из наиболее важных факторов в развитии пищевой аллергии [1, 17]. Так, на момент включения в исследование среди детей до 6 месяцев на грудном вскармливании находились 34 ребенка из 53 (64,1%), на смешанном – 11 детей (20,7%) и на искусственном – 8 детей (15,2%). Из контрольной группы ($n = 10$) соответственно 5, 3 и 2 ребенка. Легкое течение заболевания (SCORAD до 20%) диагностировано было у 13 детей (24,5%), среднетяжелое и тяжелое соответственно у 39 (73,6%) и 1 (1,9%) ребенка. У всех детей ($n = 53$) с верифицированным диагнозом пищевой аллергии определялись sIgE – 3–4 класса к белкам коровьего молока, яиц, пшеницы и клещам домашней пыли. Значения общего IgE и sIgE к белкам коровьего молока были повышенными как у детей первой группы наблюдения, так и у детей второй группы, по сравнению с контрольной группой условно здоровых детей. У детей, находившихся на момент включения их в исследование на искусственном вскармливании, при динамическом наблюдении значения общего и специфического IgE ока-

зались наиболее высокими, и повышенный уровень их сохранялся на протяжении всех трех лет. Так, у детей, находившихся на грудном вскармливании, значения общего IgE были в пределах $356,8 \pm 42,7$ МЕ/мл и на фоне лечения пре- и пробиотиками с олигосахаридами снижались до $323,4 \pm 23,9$ МЕ/мл, в то время как у детей на искусственном вскармливании эти значения были соответственно $793,7 \pm 53,2$ и $722,5 \pm 25,9$ МЕ/мл, что подтверждало зависимость выраженности аллергического воспаления от формы вскармливания детей до года. Значения общего IgE в первой группе наблюдения были в 1,5 раза выше, чем у детей второй группы наблюдения, и значения их мало изменялись при назначении биопрепаратов (про- и пребиотиков с олигосахаридами). Такая же динамика была отмечена и при исследовании уровня специфических IgE. Не изменялся также и спектр аллергенов. На начало лечения уровень специфических IgG4 был низким в первой и второй группах наблюдения. У детей с «несекреторным» фенотипом даже на фоне терапии через 3 года уровень специфических IgG4 оставался ниже, чем у детей с «секреторным» фенотипом. Уровень sIgG4 в группе детей «секреторного» фенотипа на фоне терапии биопрепаратами оказался в 3,4 раза выше, чем у детей «несекреторного» фенотипа, что может указывать на более низкую способность формирования толерантности в этой группе детей и высокую вероятность более тяжелого течения аллергического воспаления (таблица). Примечательно, что по мере нарастания уровня sIgG4 постепенно снижался уровень sIgE ($p < 0,05$).

В научной литературе приводится достаточное число данных, доказывающих

эффективность пробиотических штаммов *B. lactis BB-12*, *S. thermophilus* и *L. rhamnosus GG* при лечении различных заболеваний желудочно-кишечного тракта, аллергических заболеваний и ряда других состояний у детей, прежде всего раннего возраста, а смесь пребиотических олигосахаридов снижает частоту атопического дерматита в течение первых шести месяцев жизни [16]. Биопрепараты для детей с пищевой аллергией подбирались индивидуально, с учетом изменений микробиоты матерей [7]. Динамическое наблюдение за детьми, включенными в группы наблюдения, позволило установить, что у всех детей периодически возникали симптомы со стороны желудочно-кишечного тракта, снижался аппетит, обострялись кожные проявления, беспокоил выраженный кожный зуд. Данные микробиологического обследования выявили наличие дисбиоза кишечника у всех детей групп наблюдения. Для оценки степени дисбактериоза была использована классификация И.Н. Блохиной и В.Г. Дорофейчука [18]. При обследовании у 12 детей был установлен дисбиоз первой степени, у 40 детей – второй степени и у 1 ребенка – третьей степени. Выявленные у детей с пищевой аллергией дисбиотические нарушения микрофлоры кишечника были взаимосвязаны с тяжестью клинических симптомов и лабораторных данных. Всем детям назначалась элиминационная диета, организация гипоаллергенного быта, базисная терапия (антигистаминные препараты второго поколения, наружная терапия эмолентами, топическими глюкокортикостероидами (ГКС), и/или по показаниям ингибиторы кальциневрина).

Показатели sIgE к белкам коровьего молока и sIgG4 к белкам коровьего молока в динамике на начало лечения и через 3 года

Показатели	Гр. 1а, не получающие биопрепараты N = 12		Гр. 1б, получающие биопрепараты N = 15		Гр. 2а, не получающие биопрепараты N = 11		Гр. 2б, получающие биопрепараты N = 15		Гр. контроля n = 10 условно здоровые дети
	На начало лечения	Через 3 года	На начало лечения	Через 3 года	На начало лечения	Через 3 года	На начало лечения	Через 3 года	
sIgE нг/мл к белкам мо- лока	$512,4 \pm 76,3$	$348,12 \pm 32,8$	$541,12 \pm 41,1$	$299,61 \pm 32,1$	$522,44 \pm 72,3$	$311,4 \pm 49,5$	$512,87 \pm 47,2$	$278,7 \pm 38,7$	0,0
sIgG4 мкг/мл к белкам молока	$3,5 \pm 0,9$	$21,9 \pm 1,1$	$3,8 \pm 1,5$	$39,7 \pm 31,1$	$4,5 \pm 1,1$	$76,3 \pm 6,3$	$3,9 \pm 1,1$	$134,2 \pm 12,3$	$2,9 \pm 0,5$

$P < 0,05$.

Детям первой и второй групп наблюдения (по 15 детей из каждой группы) в течение 30 дней с момента выявленных у них проявлений дисбиоза кишечника на фоне базисной терапии назначались, индивидуально подобранные, биопрепараты, содержащие про- и пребиотики с олигосахаридами. Биопрепараты назначались по два-три курса в год в зависимости от тяжести течения заболевания. Дети группы контроля биопрепараты не получали. Данные исследований последних десятилетий показали значение олигосахаридов грудного (женского) молока для коррекции микробиоза кишечника у детей, особенно раннего возраста, которые представляют собой семейство уникальных структурно разнообразных не конъюгированных гликанов [19].

В исследованиях *in vitro* было показано прямое взаимодействие олигосахаридов грудного молока с клетками иммунной системы, а именно с Toll-подобными рецепторами Т клеток [20], что также указывало на возможность системного влияния олигосахаридов грудного молока на иммунную систему. Это послужило основанием включить в комплексное лечение пре- и пробиотики с олигосахаридами, которые подбирались индивидуально. На момент начала терапии у детей первой группы наблюдения индекс SCORAD был равен $38,1 \pm 2,1$ и у детей второй группы наблюдения – $36,9 \pm 1,8$. После комплексной базисной терапии с применением биопрепаратов значительное улучшение отмечено в первой группе у 8 детей (53,3%) и во второй группе – у 12 (80%) детей, индекс SCORAD стал у них соответственно $28,9 \pm 2,6$ и $18,6 \pm 4,3$. Через 3 года ремиссия кожных проявлений была достигнута у 9 пациентов первой группы (60%) и у 13 детей второй группы (86,6%), это подтвердило, что дети с «секреторным» фенотипом лучше отвечали на терапию. У всех детей групп наблюдения отмечалась хорошая переносимость назначаемых препаратов, не регистрировались какие-либо побочные реакции при применении пре- и пробиотиков с олигосахаридами.

Заключение

Данное исследование показало, что дети «несекреторного» фенотипа хуже отвечали на проводимую терапию, что подтвердило влияние «Н»-антигена на иммунный ответ.

Уровень sIgG4 к белкам коровьего молока у них после курса пре- и пробиотиков с олигосахаридами на фоне базисной терапии оказался в 3,4 раза ниже, чем у детей «секреторного» фенотипа. Динамическое наблюдение в течение трех лет за пациен-

тами с клинико-лабораторным подтверждением истинной, IgE-зависимой, пищевой аллергии показало, что включение в программу лечения пре- и пробиотиков с олигосахаридами обеспечило повышение эффективности общепринятой терапии и позволило быстрее сформировать у них толерантность к наиболее значимым продуктам питания.

Список литературы

1. Клинические рекомендации. Пищевая аллергия. МКБ 10: L20.8/L27.2/K52.2/T78.1 Профессиональные ассоциации: Союз педиатров России, 2018. 50 с.
2. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Хаитов Р.М., Ильина Н.И., Курбачева О.М., Ковтун О.П., Новик Г.А., Макарова С.Г., Вишнева Е.А., Селимзянова Л.Р., Чемакина Д.С., Алексеева А.А., Левина Ю.Г., Эфендиева К.Е., Добрынина Е.А., Привалова Т.Е., Сновская М.А. Современные принципы ведения детей с пищевой аллергией // Педиатрическая фармакология. 2021. № 18 (3). С. 245–263. DOI: 10.15690/pf.v18i1.2286.
3. Weng M., Walker W.A. The role of gut microbiota in programming the immune phenotype. *J. Dev. Orig. Health Dis.* 2013. No. 4. P. 203–214.
4. Marionneau S., Caillean-Thomas A., Rocher J., Le Moullac-Vaidye B., Ruvoën N., Clément M., Le Pendu J. ABH and Lewis histo-blood group antigens, a model for the meaning of oligosaccharide diversity in the face of a changing world. *Biochimie.* 2001. Vol. 83. No. 7. P. 565–573. DOI: 10.1016/s0300-9084(01)01321-9.
5. Alexander J. Noll, Ying Yu, Yi Lasanajak, Geraldyn Duska-McEwen, Rachael H. Buck, David F. Smith Richard D. Cummings. Human DC-SIGN binds specific human milk glycans. *Biochemical Journal.* 2016. Vol. 473. No. 10. P. 1343–1353. DOI: 10.1042/BCJ20160046.
6. Богданова Н.М., Булатова Е.М., Васина М.Н. Современный взгляд на микробиоценоз, иммунный ответ и факторы, влияющие на их формирование. *Фундаментальные и прикладные аспекты // Вопросы современной педиатрии.* 2013. Т. 12. № 4. С. 18–25.
7. Косякова Н.И., Андреева Л.А., Панкратова Е.В. Поиск новых возможностей диагностики пищевой аллергии и пищевой непереносимости у детей // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2020. № 8. С. 32–36. DOI: 10.17513/mjpf.13112.
8. Muraro A., Werfel T., Hoffmann-Sommergruber K., Roberts G., Beyer K., Bindslev-Jensen C., Cardona V., Dubois A., duToit G., Eigenmann P., Fernandez Rivas M., Halken S., Hickstein L., Høst A., Knol E., Lack G., Marchisotto M.J., Niggemann B., Nwaru B.I., Papadopoulos N.G., Poulsen L.K., Santos A.F., Skypala I., Schoepfer A., Van Ree R., Venter C., Worm M., Vlieg-Boerstra B., Panesar S., de Silva D., Soares-Weiser K., Sheikh A., Ballmer-Weber B.K., Nilsson C., de Jong N.W., Akdis C.A. EAACI Food Allergy and Anaphylaxis Guidelines Group. EAACI food allergy and anaphylaxis guidelines. Primary prevention of food allergy. *Allergy.* 2014. vol. 69. no. 5. P. 590–601. DOI: 10.1111/all.12429.
9. Мунблит Д.Б., Корсунский И.А. Определение специфических IgG-антител к пищевым продуктам в диагностике пищевой аллергии: миф или реальность? // *РМЖ.* 2016. № 18. С. 1206–1209.
10. Stacie M. Jones, Laurent Pons, Joseph L. Roberts, Amy M. Scurlock, Tamara T. Perry, Mike Kulis, Wayne G. Shreffler, Pamela Steele, Karen A. Henry, Margaret Adair, James M. Francis, Stephen Durham, Brian P. Vickery, Xiaoping Zhong, A. Wesley Burks. Clinical efficacy and immune regulation with peanut oral immunotherapy. *J Allergy Clin Immunol.* 2009. Vol. 124. No. 2. P. 292–300, e1–97. DOI: 10.1016/j.jaci.2009.05.022.

11. Satoguina J.S., Weyand E., Larbi J., Hoerauf A. T regulatory-1 cells induce IgG4 production by B cells: role of IL-10. *J Immunol.* 2005. Vol. 174. No. 8. P. 4718–4726.
12. Morelli L., Capurso L. FAO/WHO guidelines on probiotics: 10 years later. *J Clin Gastroenterol.* 2012. Vol. 46. Suppl: S1–S2. DOI: 10.1097/MCG.0b013e318269fdd5.
13. Christian Braegger, Anna Chmielewska, Tamas Decsi, Sanja Kolacek, Walter Mihatsch, Luis Moreno, Małgorzata Pieścik, John Puntis, Raanan Shamir, Hania Szajewska, Dominique Turck, Johannes van Goudoever, ESPGHAN Committee on Nutrition. Supplementation of infant formula with probiotics and/or prebiotics: a systematic review and comment by the ESPGHAN committee on nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2011. Vol. 52. No. 2. P. 238–250. DOI: 10.1097/MPG.0b013e318181fb9e80.
14. Лукьянова О.Л., Боровик Т.Э., Суржик А.В. Новые взгляды на понятие «пребиотики» и их влияние на организм ребенка // *Вопросы современной педиатрии.* 2017. Т. 16. № 6. С. 516–521. DOI: 10.15690/vsp.v16i6.1825.
15. Takayuki Kubota, Naoki Shimojo, Ken Nonaka, Masakatsu Yamashita, Osamu Ohara, Yuka Igoshi, Naoko Ozawa, Taiji Nakano, Yoshinori Morita, Yuzaburo Inoue, Takayasu Arima, Kohki Chiba, Yoshitaka Nakamura, Shuji Ikegami, Kentaro Masuda, Shuichi Suzuki, Yoichi Kohno. Prebiotic consumption in pregnant and lactating women increases IL-27 expression in human milk. *Br J Nutr.* 2014. Vol. 111. No. 4. P. 625–632. DOI: 10.1017/S0007114513003036.
16. Moro G., Arslanoglu S., Stahl B., Jelinek J., Wahn U., Boehm G. A mixture of prebiotic oligosaccharides reduces the incidence of atopic dermatitis during the first six months of age. *Arch Dis Child.* 2006. Vol. 91. No. 10. P. 814–819. DOI: 10.1136/adc.2006.098251. Epub 2006 Jul 27.
17. Rueter K., Prescott S.L. and Palmer D.J. Nutritional approaches for the primary prevention of allergic disease: An update. *J Paediatr Child Health.* 2015. Vol. 51. No. 10. P. 62–969. DOI: 10.1111/jpc.12951.
18. Блохина И.Н., Дорофейчук В.Г. Дисбактериозы. М.: Медицина, 1979. 176 с.
19. Bode L. Human milk oligosaccharides: every baby needs a sugar mama. *Glycobiology.* 2012. Т. 22. № 9. С. 1147–1162. DOI: 10.1093/glycob/cws074.
20. Гмошинский И.В., Скворцова В.А., Боровик Т.Э., Боковская О.А. Олигосахариды грудного молока в детских смесях: вчера, сегодня, завтра // *Лечащий врач.* 2022. № 2 (25). С. 40–48. DOI: 10.51793/OS.2022.25.2.007.

УДК 612.821.88

АЛЬФА-СТРОБИРОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ МОЗГА И СИНЕСТЕЗИИ ПРИ ДОМИНИРУЮЩЕМ ТИПЕ ВОСПРИЯТИЯ**¹Кузьяев А.Е., ²Коекина О.И.**¹Лаборатория исследований хаоса, Москва, e-mail: alexkuz60@yandex.ru;²Научный центр исследований сознания, Москва, e-mail: koekina@yandex.ru

Настоящее исследование посвящено поиску и определению алгоритма деятельности мозга для дальнейшей разработки инструмента исследования синестезий и особенностей восприятия у лиц с доминирующей сенсорной модальностью – визуалов, аудиалов, кинестетиков. Создание инструмента, основанного на свойствах отсчета времени и частотного распределения с помощью альфа-стробирования, необходимо для дальнейшего изучения состояний сознания и эмоциональных реакций человека во время прослушивания музыкальных мелодий. Показано, что у лиц с доминирующим типом восприятия сохраняется частотная специфичность по отношению к сенсорным сигналам каждой отдельной модальности: зрительной 9–11 Гц, слуховой 12–13 Гц, соматосенсорной 7–9 Гц – обусловленная процессом альфа-стробирования. Однако именно у доминантов основной особенностью распределения спектральной мощности альфа-ритма в коре мозга является локализация максимумов в первичной зоне доминирующей сенсорной модальности сразу во всем диапазоне частот от 7 Гц до 13 Гц. Подтверждено предположение, что доминирование типа восприятия у человека обеспечивается эфapticческой передачей в средах мозга сигналов разных сенсорных модальностей в область доминирующего центра первичного сенсорного восприятия. Выявлены объективные нейрофизиологические признаки возникновения синестезий, которые рассматриваются как способность преобразования сигналов, поступающих в мозг по сенсорным каналам одной модальности, в образы другой сенсорной модальности.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, альфа-ритм, альфа-стробирование, доминирующий тип восприятия, визуал, аудиал, кинестетик, синестезия

ALPHA STROBING OF SENSOR SIGNALS OF THE BRAIN AND SYNESTHESIA IN THE DOMINANT TYPE OF PERCEPTION**¹Kuzyaev A.E., ²Koekina O.I.**¹Chaos Research Laboratory, Moscow, e-mail: alexkuz60@yandex.ru;²Scientific Center for Consciousness Research, Moscow, e-mail: koekina@yandex.ru

The present study is devoted to the search and definition of the algorithm of brain activity for further development of a tool for the study of synesthesia and features of perception in persons with a dominant sensory modality – visuals, audials, kinesthetics. The creation of an instrument based on the properties of timing and frequency distribution using alpha gating is necessary for further study of the states of consciousness and emotional reactions of a person while listening to musical melodies. It has been shown that individuals with a dominant type of perception retain frequency specificity in relation to sensory signals of each individual modality: visual 9–11 Hz, auditory 12–13 Hz, somatosensory 7–9 Hz, due to the process of alpha gating. However, it is precisely in dominants that the main feature of the distribution of the spectral power of the alpha rhythm in the cerebral cortex is the localization of maxima in the primary zone of the dominant sensory modality in the entire frequency range from 7 Hz to 13 Hz at once. The assumption is confirmed that the dominance of the type of perception in humans is ensured by ephaptic transmission in the brain environments of signals of different sensory modalities to the region of the dominant center of primary sensory perception. Objective neurophysiological signs of the occurrence of synesthesias have been identified, which are considered as the ability to convert signals entering the brain through sensory channels of one modality into images of another sensory modality.

Keywords: electroencephalogram, alpha rhythm, alpha gating, dominant type of perception, visual, audial, kinesthetic, synesthesia

В связи с повышением общественного интереса к творческой деятельности человека возросло количество научных исследований, посвященных расширению сферы восприятия, в частности развитию доминирующего типа восприятия и синестезий [1–3].

Целью данной работы являлись поиск и определение алгоритма деятельности мозга в процессе проявления отдельных преобладающих видов восприятия: зрительного, слухового, соматосенсорного у лиц с доминирующей сенсорной модальностью – визуалов, аудиалов, кинестетиков. Разработка нейрофизиологического инструмента

на основе альфа-стробирования сенсорных сигналов [4, 5] дает возможность исследовать относительно устойчивые сенсорные системы саморегуляции с участием эмоциональных образований, имеющих связь с памятью. При этом стробирование можно рассматривать как один из механизмов в развитии системы саморегуляции, так как оно позволяет осуществлять комбинирование восприятия и действий в создаваемых им интервалах времени. Использование такого инструмента позволяет достаточно детально изучать условия развития доминирующего типа восприятия и участие в этом процессе синестезий.

В настоящем исследовании синестезии рассматриваются как способность преобразования сигналов, поступающих в мозг по сенсорным каналам одной модальности, в образы другой сенсорной модальности. Подобные синестезии могут вносить качественные изменения в систему восприятия, поскольку могут переводить слабые неосознаваемые ощущения одних органов чувств в осознаваемые другой, более развитой у конкретного человека, системой восприятия. Данный тип синестезии характерен для экстрасенсорного восприятия и может возникать на фоне особых эмоциональных состояний, например таких, как эмпатия (сопереживание) [6].

Для выполнения задач, направленных на изучение синестезий и доминирующих типов восприятия, необходимо ответить на следующие вопросы, имеющие непосредственное отношение к структуре исследования.

1. Каковы особенности спектральных характеристик альфа-ритма и их распределения на поверхности коры у визуалов, акустиков, кинестетиков? Как у них локализируются источники происхождения альфа-ритма?

2. Как глубинные источники происхождения альфа-ритма проецируют активность в кору головного мозга?

3. Является ли постоянно доминирующая в коре мозга зона первичного восприятия у визуала, аудиала или кинестетика проявлением синестезий по отношению к остальным зонам сенсорного восприятия?

Материалы и методы исследования

Альфа-стробирование сенсорных сигналов мозга при доминирующем типе восприятия исследовано в условиях, оптимальных для проявления альфа-активности у испытуемых: в состоянии спокойного бодрствования, психической и мышечной релаксации с закрытыми глазами. Эти условия позволили рассматривать индивидуальные показатели альфа-ритма как наиболее адекватные и присущие каждому участнику исследования для отражения готовности к активной мозговой деятельности и восприятию сенсорных сигналов. Не исключено, что при этом стабильность рассматриваемых показателей обеспечивается процессами не только в сенсорных центрах первичного восприятия в коре, но и в структурах контроля и регуляции эмоций и памяти в лимбической системе, а также в системе восходящей неспецифической активации в структурах ствола мозга и таламуса.

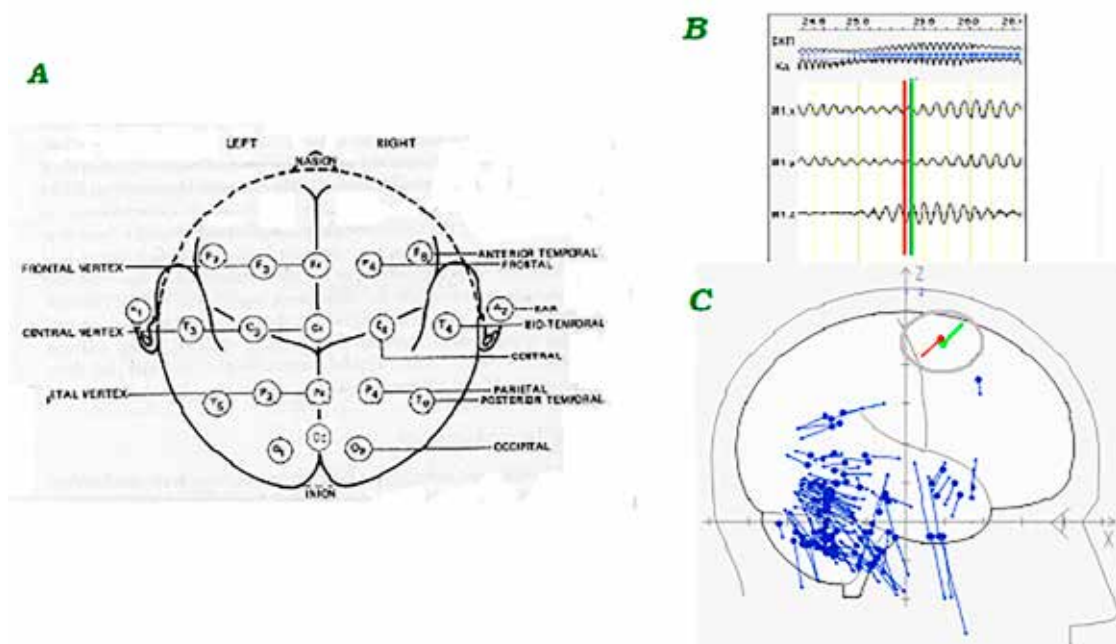


Рис. 1. А. Стандартное расположение электродов на поверхности головы по схеме 10/20. В. Регистрация альфа-ритма в проекциях головы XYZ (соответственно M1x, M1y, M1z) синхронно с вычислениями эквивалентных дипольных источников и их векторов.

Данные, относящиеся к мозжечку, в статье не рассматриваются.

С. Два эквивалентных дипольных источника (в овале) с противоположно направленными векторами: красный – в сторону положительной поляризации диполя в области гиперполяризации нейронов, зеленый – в сторону отрицательной поляризации в области деполаризации нейронов. Моменты вычисления этих источников совпадают с красной и зеленой линиями на рис. В, пересекающимися линии альфа-ритма с интервалом, равным полупериоду альфа-волны

В исследовании участвовала группа испытуемых, занимающихся интеллектуальным трудом (16 женщин и 14 мужчин), в возрасте от 30 до 60 лет. Для отбора лиц с доминирующим типом восприятия (визуалов, аудиалов, кинестетиков) была проведена регистрация ЭЭГ у 120 чел. в состоянии спокойного бодрствования, психической и мышечной релаксации, с закрытыми глазами. Отбор испытуемых проводился на основе показателей спектральных характеристик альфа-ритма в первичных зонах коры основных сенсорных модальностей: зрительной, слуховой, соматосенсорной [5]. При наличии максимумов спектральной мощности альфа-ритма частотой от 7 Гц до 13 Гц с шагом 1 Гц в одной из первичных сенсорных зон коры делали вывод о доминировании зрительного восприятия (поля по Бродману 17, 18, 19) у визуалов, слухового (поля по Бродману 41, 42, 20, 21, 22, 37) – у аудиалов, сенсомоторного (поля по Бродману 2, 3, 4, 6) – у кинестетиков. В группу «Баланс» были включены испытуемые, у которых отсутствовало доминирование одной из сенсорных модальностей. Основные типы восприятия проявлялись равномерно, и это отражалось в повышении спектральной мощности альфа-ритма в первичных центрах сенсорного восприятия на свойственной ему частоте согласно альфа-стробированию: 7–9 Гц у кинестетиков и аудиалов, 9–11 Гц у визуалов, 11–13 Гц у аудиалов.

Регистрацию ЭЭГ проводили на 24-канальном нейровизоре NVX24 производства ООО «Медицинские Компьютерные Системы» с использованием стандартных монополярных отведений в соответствии с принятой международной схемой 10–20 (рис. 1, А) [7].

Исследования проводились в стандартных, одинаковых для всех испытуемых условиях ограничения электромагнитных наводок, слуховых и других сенсорных помех.

Для обработки и анализа данных регистрации электрической активности мозга – электроэнцефалограммы (ЭЭГ) использованы пакеты компьютерных программ: топографического картирования электрической активности мозга Brainsys Neuro-КМ [8] и Программа трехмерной локализации источников электрической активности головного мозга BrainLoc [8, 9].

Применены методики нейрокартирования в виде распределения показателей мощности частотного спектра альфа-ритма по отдельным областям на поверхности полушарий мозга. Использован статистический анализ для оценки достоверности получаемых данных.

С целью выявления функциональной архитектуры доминирующего сенсорного восприятия вычисляли распределение эквивалентных токовых диполей (ЭТД) генераторов альфа-ритма частотой 7–13 Гц с шагом 1 Гц в коре и в глубинных структурах мозга (рис. 1, С). Локализацию ЭТД определяли в каждый момент времени, равный дискретному интервалу отсчета данных при вводе в компьютер. Вопрос о соответствии локализации ЭТД в глубинных структурах мозга той биоэлектрической активности, которая регистрировалась на поверхности головы, решался специальным алгоритмом, в котором рассматривались электрические свойства мозга как объемного проводника [9, 10]. Для анализа применяли однодипольную модель ЭТД. Одновременно программы вычисляли параметры анатомической локализации ЭТД, включая корковые поля Бродмана и отдельные образования серого и белого вещества в подкорковых областях [11].

При интерпретации результатов работы программы учитывали [9, 10], что вычисляемый для анализируемых одномоментных сечений ЭЭГ токовый диполь является не реальным источником потенциалов ЭЭГ, а эквивалентным, результирующим источником электрически активной в данный момент времени области мозга. ЭТД характеризует суммарную электрическую активность нервных клеток, вовлеченных в текущий момент времени в процесс электрического возбуждения, и расположен в электрическом центре этой области. Поэтому коэффициент дипольности, как показатель того, насколько точно вычисленная эквивалентная дипольная модель описывает пространственное распределение потенциалов на поверхности головы, был использован на уровне высоких значений КД $\Rightarrow 0,97$. При этом ЭТД источников альфа-ритма с высоким коэффициентом дипольности (КД $\Rightarrow 0,97$) могут рассматриваться как указатели на наиболее активные локальные зоны, запускающие последовательное перемещение волновых процессов альфа-колебаний. Высокий уровень дипольности ЭТД показывает, что интенсивность электрического поля генераторов альфа-ритма достаточна, чтобы достичь поверхности коры.

Результаты исследования и их обсуждение

Так как в норме повышение амплитуды и спектральной мощности альфа-ритма отражает готовность к функциональной активности, то доминирующий тип восприятия определяли именно в состоянии покоя и готовности путем выявления максимумов

мов спектральной мощности альфа-ритма в первичных сенсорных зонах коры головного мозга. При этом учитывалось, что такая локализация выделенных макроскопических сетей в состоянии покоя совпадает или преобразуется в относительно устойчивую, но сходную с покоем, модификацию во время активной деятельности, например при наблюдении за внешними событиями или при их воспоминаниях [12, 13].

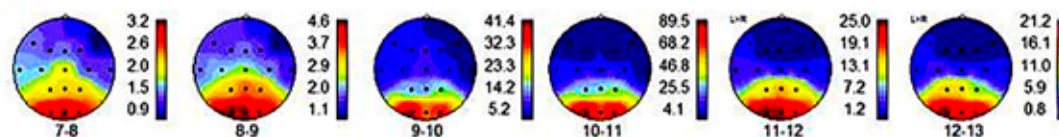
Усредненные распределения спектральной мощности альфа-ритма в коре мозга, полученные по отдельным группам визуалов, аудиалов, кинестетиков, представлены на рис. 2. Эти распределения в каждой группе имеют свои особенности, но общим является то, что у лиц с доминирующим типом восприятия альфа-ритм имеет максимум спектральной мощности в первичной зоне коры доминирующей модальности сигналов на всех частотах от 7 до 13 Гц. Особенно четко эта особенность проявля-

ется при сопоставлении с распределением спектральной мощности альфа-ритма в коре головного мозга у лиц с сбалансированным восприятием сенсорных сигналов всех модальностей (рис. 2, БАЛАНС).

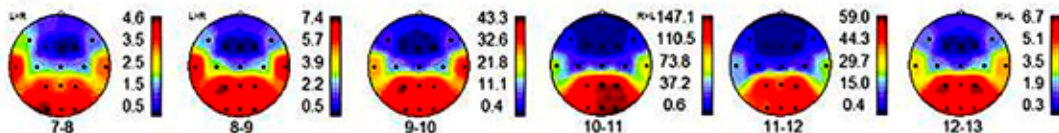
Согласно представлениям об альфа-стробировании [5] ритмы частотой 9–12 Гц имеют отношение к зрительному восприятию, и максимальная спектральная мощность этих ритмов концентрируется в зрительных отделах коры затылочных областей (рис. 2, БАЛАНС). Но у визуалов максимальная спектральная мощность альфа-ритма наблюдается в зрительной зоне затылочной коры в более широком диапазоне частот от 7 до 13 Гц (рис. 2, ВИЗУАЛ). Этот признак говорит о повышенной готовности зрительных отделов коры к восприятию сигналов разных модальностей в рамках альфа-стробирования и является отличительной особенностью активности мозга у визуалов.

Среднее: Спектры мощности (Power), мкВ²

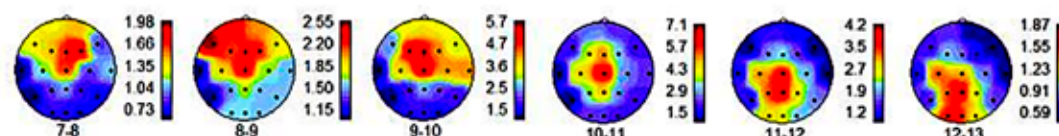
ВИЗУАЛ



АУДИАЛ



КИНЕСТЕТИК



БАЛАНС

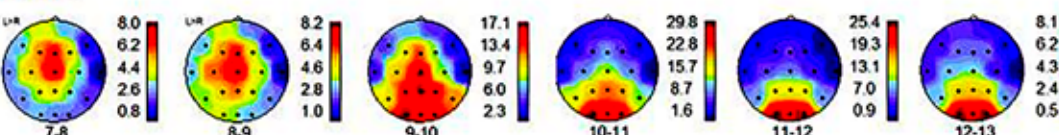


Рис. 2. Карты распределений спектральной мощности альфа-ритма, усредненной по отдельным группам испытуемых с доминирующим типом восприятия: визуалов (ВИЗУАЛ), аудиалов (АУДИАЛ), кинестетиков (КИНЕСТЕТИК) и с отсутствием доминирования (БАЛАНС). В нижней части каждой карты указана частота альфа-ритма, справа цветовая шкала уровня спектральной мощности мкВ². Зоны отведений ЭЭГ см. на рис. 1, А

В группе аудиалов (рис. 2, АУИАЛ) максимумы мощности альфа-ритма наблюдаются в височных областях, чаще в сочетании со зрительными зонами. В группу вошли участники, ежедневно творчески занимающиеся прослушиванием музыкальных произведений или созданием новых мелодий.

Можно предположить, что постоянная творческая деятельность стимулирует именно те системы мозга, которые обеспечивают наиболее широкое восприятие специфических сигналов творчества. К ним относятся восходящие системы неспецифической и эмоциональной активации мозга, многочисленные связи и взаимодействия активных центров, в состоянии готовности которых наиболее выражена мощность альфа-ритма.

Особенностью данной группы является повышенная мощность альфа-ритма на всех рассматриваемых частотах не только в центрах слухового восприятия в височной области, но также и в центрах зрительного восприятия в затылочной области и в теменных ассоциативных зонах. Могут ярко проявляться аудио-визуальные синестезии.

В группе кинестетиков (рис. 2, КИНЕСТЕТИК) в распределениях средней мощности альфа-ритма максимум наблюдается в сенсомоторной области на всех частотах в диапазоне от 7 до 13 Гц. Некоторое смещение максимума в ассоциативную зону теменной области наблюдается только на частоте 11–13 Гц на фоне общего снижения показателей спектральной мощности на поверхности полушарий.

При отсутствии доминирующего типа восприятия (рис. 2, БАЛАНС) активность альфа-ритма в первичных центрах основных сенсорных модальностей (зрительной, слуховой, кинестетической) распределяется соответственно частотному альфа-стробированию.

Возникает вопрос, каким образом формируются каналы передачи сенсорной информации как доминантной, так и недоминантной модальности у лиц с доминирующим типом восприятия?

Особенности альфа-стробирования сенсорных сигналов при доминирующем типе восприятия рассмотрим на отдельных примерах.

Визуалы воспринимают мир посредством зрительных образов [3]. Доминирующий орган чувств у них – глаза. Другие формы оценки мира у таких людей тоже развиты, но им проще и удобнее обрабатывать поступающую информацию именно через зрение.

Особенности нейронной активности мозга у визуала показаны на примере испытуемого 3. (рис. 3). Представленные карты поверхности мозга с распределениями спектральной мощности альфа-ритма с шагом 1 Гц показывают, что максимумы распределений наблюдаются в зрительных зонах затылочной коры обоих полушарий на всех частотах альфа-колебаний от 7 до 13 Гц (рис. 3, А, В). При этом в зрительных зонах коры, преимущественно в полях 17, 18, 19 и 7 по Бродману, наблюдается повышенная концентрация ЭТД генераторов альфа-колебаний 7–13 Гц с высоким коэффициентом (КД => 0, 98) дипольности (рис. 3, С). Особенно плотная локализация ЭТД в этих зонах наблюдается на частоте альфа-ритма 9–10 Гц и 10–11 Гц. У визуалов распределения ЭТД в структурах лимбической области и восходящей неспецифической активации зависят от частоты альфа-стробирования. В данном примере на рис. 3, Е, наблюдается объединение структур восходящей неспецифической активации (Varolius), лимбической системы (поля Бродмана 23, 30, 31) и зрительной зоны (поля Бродмана 17, 18, 19) в систему каналов на частоте 7–8 Гц.

В объединение на частоте 11–12 Гц добавляются поля Бродмана 7, 29 и 37. На частоте 12–13 Гц дополнены влияния системы восходящей неспецифической активации мозга (Mesencephalon, Thalamus, Substantia Nigra, Nucleus Ruber). Таким образом, у визуалов сохраняется система передачи сигналов по каналам соматосенсорной модальности (7–8 Гц) или слуховой (11–13 Гц и частично 7–8 Гц), которые отличаются от других не только частотной специфичностью, но и анатомическими структурами.

Кроме того, у визуалов вектора ЭТД генераторов альфа-волн в каналах передачи сенсорных сигналов любой, не только зрительной, модальности направлены преимущественно к доминирующему центру зрительного восприятия (рис. 3, D). И в этом заключается важное отличие доминирующего восприятия от сбалансированного, при котором векторы ЭТД источников альфа-ритма определенной модальности имеют направления преимущественно в сторону центра восприятия той же сенсорной модальности [5].

Отсюда следует (рис. 3, А, В, С, D), что обусловленная альфа-стробированием частотная специфичность каналов передачи сенсорных сигналов каждой модальности создает возможность взаимодействия сенсорных сигналов зрительного спектра с соматосенсорными и слуховыми сигналами, исходящими из систем соответствующего сенсорного восприятия.

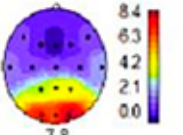
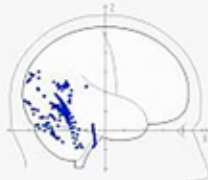
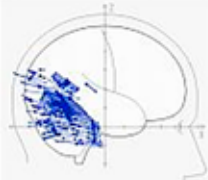
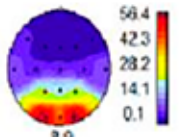
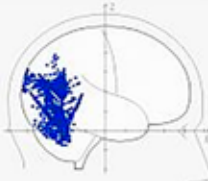
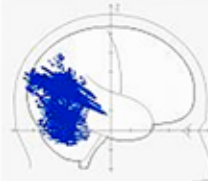
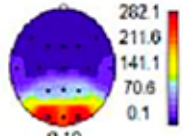
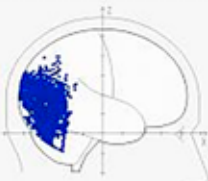
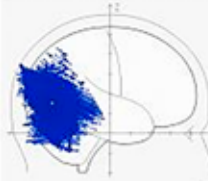
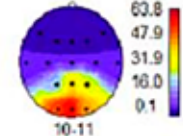
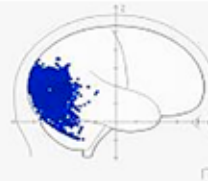
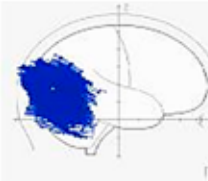
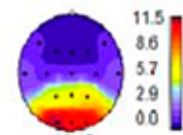
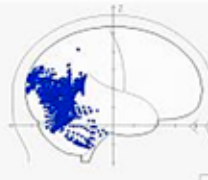
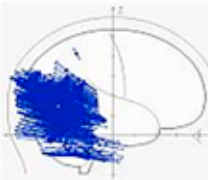
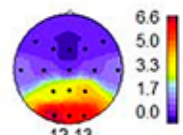
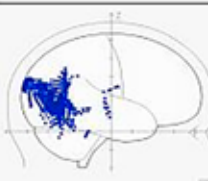
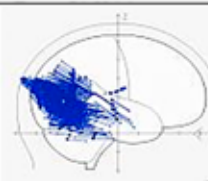
A АЛЬФА ГЦ	B РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	C ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТД КД=>0,98	D ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТД С ВЕКТОРАМИ КД=>0,98	E ПОЛЯ ПО БРОДМАНУ АНАТОМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ МОЗГА
1 7-8				BaDEX: 17,18,19,23,30,31 BaSIN: 17,18 DEXTRUM: SINISTRUM: Varolius
2 8-9				BaDEX: 7,17,18,19, 23,29,30,31,37 BaSIN: 7,17,18,19,23,29,30,31 DEXTRUM: SINISTRUM:
3 9-10				BaDEX: 7,17,18,19, 23,29,30,31 BaSIN: 7,17,18,19, 23,29,30,31 DEXTRUM: SINISTRUM:
4 10-11				BaDEX: 7,18, 19,23,30,31 BaSIN: 7, 17,18,19,23,30,31,37 DEXTRUM: SINISTRUM:
5 11-12				BaDEX: 7,17,18,19,23,29,30,31 BaSIN: 7,17,18,19, 23,30,31,37 DEXTRUM: SINISTRUM: Varolius
6 12-13				BaDEX: 7,18,19, 23,30,31 BaSIN: 13,17,18,19,23,30,31 DEXTRUM: Thalamus, Nucleus Ruber, SINISTRUM: Pulvinar Thalami, Substantia Nigra, Mesencephalon

Рис. 3. Пример: испытуемый 3. – визуал. **A, B (1, 2, 3, 4, 5, 6)** – максимумы спектральной мощности альфа-ритма в зрительных зонах затылочной области коры. **C, E (1, 2, 3, 4, 5, 6)** – преобладание распределений ЭТД в зрительных зонах и в поясной извилине; **1, 5, 6** – ЭТД наблюдаются также в структурах системы неспецифической восходящей активации. **D (1, 2, 3, 4, 5, 6)** – ЭТД с векторами, направленными в сторону затылочной области. Обозначения столбцов: **A** – частота альфа-ритма в Гц; **B** – схемы коры мозга (зоны отведений ЭЭГ см. на рис. 1) с распределением спектральной мощности альфа-ритма, справа цветовая шкала в мкВ², под схемой указана частота альфа-ритма; **C** – локализация ЭТД генераторов альфа-ритма в структурах мозга в сагиттальной проекции; **D** – то же, что и в **C**, с добавлением изображений векторов ЭТД; **E** – локализация ЭТД генераторов альфа-ритма в анатомических структурах мозга, **BaDEX, BaSIN** – поля Бродмана в правом и левом полушариях, **DEXTRUM, SINISTRUM** – глубинные структуры правого и левого полушарий. 1, 2, 3, 4, 5, 6 – обозначения частот альфа-ритма для изображений по горизонтали

При этом функция стробирования проявляется в процессе сканирования электрическими альфа-волнами, которые могут распространяться непосредственно в средах мозга, влияя на состояние возбудимости мембран отдельных элементов нейронных сетей [10, 13–15]. В рассматриваемом случае скопление ЭТД источников альфа-ритма частотой 7–8 Гц наблюдается в поясной извилине. При этом проявляется однонаправленность векторов ЭТД в сторону зрительной коры мозга. Таким образом, благодаря альфа-стробированию сигналы соматосенсорной модальности в поясной извилине могут проецироваться альфа-волной в зрительную зону коры. Так как зрительная кора способна работать только со зрительными образами, то соматосенсорная информация преобразуется в зрительную. В этом случае можно говорить о синестезии, то есть о преобразовании сигналов восприятия одной модальности ощущений в образы другой модальности.

Если одновременно альфа-ритм более низкой частоты 7–9 Гц и более высокой 11–13 Гц также имеет максимум мощности в затылочной области коры, то это означает возможность возникновения кинестетико-визуальных или аудио-визуальных синестезий. У визуала в случае более слабых почти неосознаваемых слуховых (альфа-стробирование 12–13 Гц) или кинестетических (альфа-стробирование 7–9 Гц) сигналов в центрах зрительной коры благодаря повышенной возбудимости возможно преобразование в более яркие и четкие зрительные образы. В определенных условиях, когда передача по нейронным путям сигналов от органа чувств будет иметь подпороговое значение и не осознаваться, можно допустить, что анализатор более развитой модальности ощущений с помощью эфаптической связи отсканирует информацию и создаст осознаваемый образ.

Для аудиалов характерны следующие признаки: хороший слух, любовь к музыке, высокая требовательность как к своей, так и к чужой речи. Аудиалы больше других ориентированы на общение, им необходима полная тишина при сосредоточении на чем-либо, они имеют хорошую слуховую память [3].

У аудиала А. (рис. 4, А, В) спектральная мощность альфа-ритма на всех частотах увеличена в височных областях в первичных и вторичных зонах слухового восприятия, включая зоны Вернике, а также в ассоциативных теменных областях и в зонах зрительного восприятия затылочной области. Такое распределение повышенной мощности альфа-ритма в коре в состоянии

покоя, по-видимому, отражает готовность к наиболее часто выполняемым видам деятельности нейросетей. Как показано [12, 13], индивидуальные нейросети относительно стабильны по структуре, хотя имеют специфическую динамику активной деятельности, а при сопоставлении с сетями состояния покоя совпадают по локализации. Известно, что полимодальное восприятие и многочисленные ассоциации между слуховыми, зрительными и соматосенсорными образами характерны для музыкального творчества в процессе создания новых или исполнения готовых музыкальных произведений. В эту группу были включены представители творческой музыкальной профессии.

ЭТД с высоким уровнем дипольности (КД => 0, 98) локализируются в слуховых зонах височной области, вторичных и третичных, а также в ассоциативных зонах зрительного и соматосенсорного восприятия коры больших полушарий, в поясной извилине и в глубинных структурах – гиппокампе, хвостом ядра, таламусе, среднем мозге (рис. 4, Е). Необходимо отметить, что ЭТД генераторов альфа-ритма частотой 7–13 Гц с шагом 1 Гц распределяются в слуховых и в зрительных зонах коры, в поясной извилине, в Mesencephalon. Это структуры, которые определяют доминирование слухового и зрительного восприятия в данной творческой группе. Однако в отдельных глубинных образованиях мозга выделяются ЭТД источников альфа-волн в более узких диапазонах частот, соответствующих разным модальностям. Векторы большинства ЭТД направлены в стороны височных и затылочных областей. Они указывают на возможность переноса активности эфаптическим путем. Появляются условия возникновения синестезии – преобразования сигналов одной модальности в чувственный образ другой модальности, например, слухового образа на основе зрительных или соматосенсорных сигналов. В более расширенном представлении синестезия – это явление восприятия, при котором стимуляция одного сенсорного или когнитивного пути приводит к произвольным переживаниям во втором сенсорном или когнитивном пути [1, 2].

Кинестетик овладевает информацией, полагаясь на свои физические ощущения, на органы осязания. Кожные, мышечные ощущения, состояние внутренних органов и собственная реакция на них имеют первостепенное значение для человека с превалирующим кинестетическим каналом. Такие люди очень тонко и подлинно распознают чувства и эмоции [3].

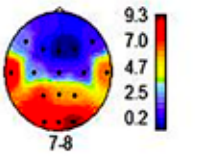
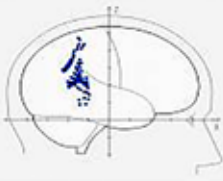
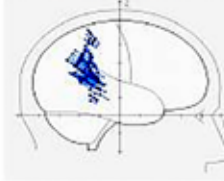
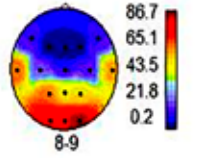
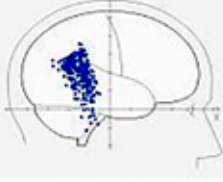
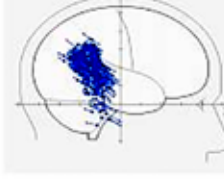
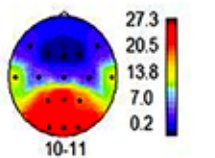
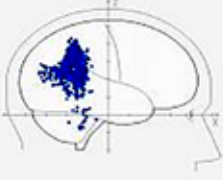
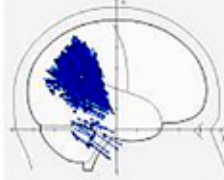
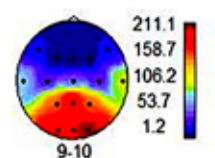
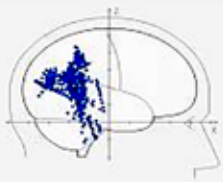
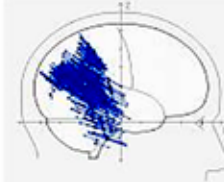
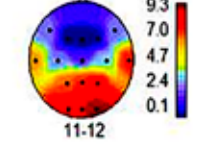
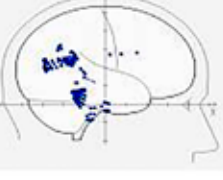
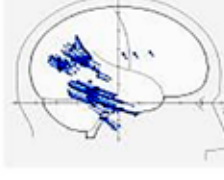
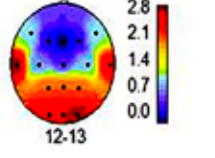

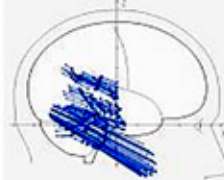
A АЛЬФА ГЦ	B РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	C ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТД КД=>0,98	D ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТД С ВЕКТОРАМИ КД=>0,98	E ПОЛЯ ПО БРОДМАНУ АНАТОМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ МОЗГА
1 7-8				Ba DEX: 18,19,23, 27,28,29, 30,31,37 Ba SIN: 2,5,7,18,19,20, 21, 23,28,29,30,31,40 DENTRUM: Pulvinar Thalami, Gyrus parahippocampalis SINISTRUM: Hippocampus, Nucleus caudatus, Mesencephalon
2 8-9				Ba DEX: 7,18,20,21,23,29,30,31 Ba SIN: 21,22,23,29,30,31,36,37 DENTRUM: Mesencephalon, Variolus SINISTRUM: Pulvinar Thalami, Nucleus caudatus
3 9-10				Ba DEX: 5,7,18,19,20,23,29,30,31 Ba SIN: 5,7,18,19,22,23,29,30,31 DENTRUM: Mesencephalon SINISTRUM: Hippocampus
4 10-11				Ba DEX: 5,7,18,19,20,23,29, 30, 31, 37 Ba SIN: 5,7,18,19,21,23,29,30, 31,36 DENTRUM: Mesencephalon SINISTRUM: Pulvinar Thalami
5 11-12				Ba DEX: 18,20,21,30,31 Ba SIN: 5,7,18,19,20,23,29,30, 31,36 DENTRUM: Hippocampus, Thalamus, Pulvinar Thalami SINISTRUM: Gyrus parahippocampalis, Mesencephalon
6 12-13				Ba DEX: 17,18,19,22,27,28,29, 30, 31,35,36,37 Ba SIN: 7,13,18,19,21,23,29, 30, 31, 35,39 DENTRUM: Nucleus Ruber, Girus parahippocampalis SINISTRUM: Hippocampus, Thalamus, Pulvinar Thalami, Nucleus Caudatus, Mesencephalon, Variolus

Рис. 4. Пример: испытуемый К. – аудил. А, В (1, 2, 3, 4, 5, 6) – повышение спектральной мощности альфа-ритма наблюдается в слуховых зонах височной области, в зрительных зонах затылочной области и в ассоциативных зонах теменной области. С, Е (1, 2, 3, 4, 5, 6) – ЭТД альфа-ритма распределяются в слуховых, в зрительных зонах, в поясной извилине, в Mesencephalon, а также 1, 2, 4, 5, 6 – Pulvinar Thalami; 1, 3, 5, 6 – Hippocampus; 1, 5, 6 – Girus Parahippocampalis; 1, 2, 6 – Nucleus Caudatus; 2, 6 – Variolus. D (1, 2, 3, 4, 5, 6) – ЭТД с векторами, направленными в сторону слуховых зон височной области. Обозначения А, В, С, D, Е и 1, 2, 3, 4, 5, 6 как и на рис. 3

А АЛЬФА ГЦ	В РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	С ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТД КД=>0,97	D ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТД С ВЕКТОРАМИ КД=>0,97	Е ПОЛЯ ПО БРОДМАНУ АНАТОМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ МОЗГА
1 7-8				Ba DEX: 6,9,23,24,29,31,34,38,47 Ba SIN: 24,25,32,34,47 DEXTRUM: Putamen, Corpus Amygdaloideum SINISTRUM: Caput nuclei caudati Mesencephalon, Varolius
2 8-9				Ba DEX: 6,18,20,21,30,31,32,34,36,47 Ba SIN: 30, 32 DEXTRUM: Corpus Amygdaloideum, Cauda nuclei caudati, Globus Pallidus lateralis, Gyrus Parahippocampalis SINISTRUM: Gyrus Fusiformis
3 9-10				Ba DEX: 6,8,23,24,31,32,35 Ba SIN: 7, 13,23,24,25,32 DEXTRUM: Nucleus anterior ventralis, Nucleus posterior lateralis, Nucleus ventrolateralis, Nucleus lateralis dorsalis, Nucleus centromedianus, Putamen SINISTRUM: Putamen, Nucleus Caudatus, Thalamus, Nucleus anterior, Nucleus Ruber, Varolius, Mesencephalon, Corpus Mamilare
4 10-11				Ba DEX: 18,23,24, 29,30,31 Ba SIN: 3,4,6,13,25,30,31,34 DEXTRUM: Thalamus, Pulvinar, Nucleus medialis dorsalis, Nucleus posterior lateralis, Putamen SINISTRUM: Caput nuclei caudati, Nucleus Caudatus, Putamen, Mesencephalon
5 11-12				Ba DEX: 6,9,18,19,20,24,28,29,31,32,38 Ba SIN: 6,7,18,19,23,24,31,32 DEXTRUM: Nucleus Caudatus, Thalamus, Nucleus anterior, Nucleus ventrolateralis, Nucleus medialis dorsalis, SINISTRUM: Substantia Nigra, Nucleus Ruber, Nucleus subthalamicus Varolius, Mesencephalon
6 12-13				Ba DEX: 18,21,22,25,28,29,30,32,36,38 Ba SIN: 7,17,18,20,23,24,30,32,33,38 DEXTRUM: Nucleus Caudatus, Pulvinar, Nucleus anterior, Nucleus ventrolateralis, Globus Pallidus lateralis, Putamen, Gyrus Parahippocampalis, Hippocampus SINISTRUM: Putamen, Varolius, Corpus Mamilare, Mesencephalon

Рис. 5. Пример: испытуемый Б. – кинестетик. А, В (1, 2, 3, 4, 5, 6) – максимум спектральной мощности альфа-ритма наблюдается в центральной сенсомоторной зоне. С, Е (1, 2, 3, 4, 5, 6) – ЭТД альфа-ритма распределяются в премоторной зоне коры, в поясной извилине, Nucleus Caudatus, а также 1, 3, 4, 6 – Putamen; 1, 2 – Corpus Amygdaloideum; 2, 6 – Globus Pallidus; 2, 3, 6 – Gyrus Parahippocampalis; 3, 4, 5, 6 – Thalamus nuclei; 1, 3, 4, 5, 6 – Mesencephalon; 1, 3, 5, 6 – Varolius. D (1, 2, 3, 4, 5, 6) – имеются ЭТД с векторами, направленными в сторону сенсомоторной области. Обозначения А, В, С, D, Е и 1, 2, 3, 4, 5, 6 как и на рис. 3.

У кинестетика спектральная мощность альфа-ритма всего диапазона частот от 7 Гц до 13 Гц имеет максимум в доминирующей сенсомоторной области коры головного мозга (рис. 5, А, В). В этой области отдельные наиболее активные зоны представлены ЭТД источников альфа-волн с высоким коэффициентом дипольности от 0,97 и выше. ЭТД локализируются в первичной зоне соматосенсорного восприятия 3 и в моторной зоне 4 по Бродману, а также в ассоциативных и вторичных моторных или двигательных зонах коры – в полях Бродмана 6, 7, 8, 9, 13 (рис. 5, С, D, E). Активные ЭТД с $KD \Rightarrow 0,97$ концентрируются также в отдельных зонах поясной извилины, где представлены поля 23, 24, 29, 30, 38 по Бродману, которые связаны с развитием эмоций и исполнением инстинктивного поведения [11]. ЭТД с высокими значениями дипольности одновременно распределяются в отдельных ядрах таламуса, миндалевидного комплекса, хвостатого ядра, скорлупы, бледного шара, гиппокампа, парагиппокампальной извилины (рис. 5, С, D, E). Вектора эквивалентных токовых диполей генераторов альфа-ритма в этих перечисленных зонах направлены преимущественно в сторону центральных (сенсомоторных) и передних областей мозга. Такая направленность векторов ЭТД создает дополнительные возможности сканирования и переноса сигналов эфаптическим путем из каналов одной сенсорной модальности, включая лимбическую и неспецифическую восходящей активации системы, в первичный центр другой чувствительности. В таком случае телесные ощущения кинестетика могут соответствовать зрительным образам или слуховым сигналам. В результате соматосенсорные или телесные ощущения могут быть более контрастными и осознаваемыми, чем слуховые или зрительные образы.

Кроме того, в создании сложных образов на основе зрительной и соматосенсорной информации большое значение имеет поле Бродмана 7. Оно является третичным проекционным полем, ассоциативной зоной в месте перекрытия различных анализаторов. Здесь происходит интеграция различных сигналов, формирование соответствующих ощущений, осуществление сложных аналитико-синтетических функций.

Подобно тому как при активации первичного зрительного центра возбуждаются генераторы ритмического волнового процесса, сканирующего сенсорную кору и распространяющегося с периодом альфа-ритма [13–15], в настоящей работе сканирующие процессы отражаются в интервалах альфа-стробирования, которые определяют ча-

стотную специфичность каждой сенсорной модальности не только в первичных сенсорных зонах, но и в структурах лимбической и неспецифической восходящей систем.

В рассматриваемой нами функциональной архитектуре альфа-стробирования каждая альфа-волна переносит эфаптическим способом состояние отдельных структур лимбической системы в ту область, куда направлен вектор отрицательного знака (рис. 1, В, С). У лиц с доминирующим типом восприятия наблюдается преимущественное направление отрицательных векторов в первичную зону доминантной модальности независимо от того, к системе какой модальности принадлежит альфа-волна. При этом деполяризующий (возбуждающий) фронт альфа-волны является активным передатчиком результатов сканирования, а векторы, направленные к положительному полюсу ЭТД, показывают движение альфа-волны гиперполяризующим (тормозным) фронтом воздействия на структуры мозга, находящиеся вне доминирующей зоны восприятия, тем самым создавая контрастные условия для концентрации доминирующей активности.

Выводы

1. У лиц с доминирующим типом восприятия сохраняется частотная специфичность по отношению к сенсорным сигналам каждой отдельной модальности: зрительной 9–11 Гц, слуховой 12–13 Гц, соматосенсорной 7–9 Гц, что подтверждает наличие процесса альфа-стробирования. Однако именно у доминантов основной особенностью распределения спектральной мощности альфа-ритма в коре мозга является локализация максимумов в первичной зоне доминирующей сенсорной модальности сразу во всем диапазоне частот от 7 Гц до 13 Гц.

2. При доминирующем типе восприятия эквивалентные токовые диполи генераторов альфа-ритма с высоким коэффициентом дипольности $KD \Rightarrow 0,97$ локализируются в коре головного мозга преимущественно в первичной зоне доминирующей сенсорной модальности. Повышенная концентрация ЭТД генераторов альфа-волн наблюдается также в тех проводящих системах и структурах лимбической системы, отвечающих за контроль и регуляцию эмоций и памяти, и системы восходящей неспецифической активации мозга, которые имеют отношение к доминирующему восприятию.

3. Благодаря альфа-стробированию в структурах лимбической системы возникают эквивалентные токовые диполи источников альфа-ритма в частотных диапазонах соответствующих модальностям – зритель-

ной, слуховой, соматосенсорной. Векторная направленность этих диполей в сторону доминирующей первичной зоны в коре указывает на возможность эфаптической передачи альфа-волной сигналов возбуждения от образований лимбической системы, которые участвуют в происхождении эмоциональных реакций и запоминании зрительных, слуховых, соматосенсорных сигналов и образов.

4. Предполагается, что в центре доминирующего восприятия происходит возбуждение альфа-волной, несущей сигналы от структур лимбической системы, и формируется образ доминирующей сенсорной модальности. Таким путем происходит преобразование сигналов любой сенсорной модальности в сигналы и образы доминирующей модальности. Способность преобразования сигналов, поступающих в мозг по сенсорным каналам одной модальности, в образы другой сенсорной модальности рассматривается как синестезия.

Список литературы

1. Сидоров-Дорсо А. Антропология синестезии. Нейрофеноменологическая парадигма как естественнонаучный фундамент исследований кросс-модальных познавательных процессов // Искусство звука и света. История, теория, практика. Вып. 1. СПб., 2021. С. 29–46.
2. Шершенович Я. Синестезия: физиология – эстетика – метафизика // Проблемы синестезии и поэтика авангарда. М., 2020. С. 9–38.
3. Денишова Д.А. Репрезентативная система, каналы восприятия и синестезия в рамках вопроса о восприятии человека // Гуманитарный научный вестник. 2017. № 5. С. 8–16.
4. Koekina O.I., Kuziaev A.E. EEG Spectral Response to Listening to Musical Melodies Expressing Emotional States. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*. 2020. Vol. 9. No. 12. P. 604–610. DOI: 10.17577/IJERTV9IS120258.
5. Коекина О.И. Альфа-стробирование сигналов в первичных сенсорных зонах коры мозга // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2022. № 7. С. 33–39.
6. Коекина О.И. Способности к интегральному телесному восприятию и ясновидению у народных целителей (нейрофизиологические исследования) // *The Unity of Science*. 2017. № 4. С. 91–96.
7. Homan R.W., Herman J., Purdy P. Cerebral location of international 10–20 system electrodes placement. *EEG and Clinical Neurophysiology*. 1987. Vol. 66. P. 376–382.
8. Митрофанов А.А. Компьютерная система анализа и топографического картирования электрической активности мозга «Brainsys». М.: Статокин, 2019. С. 65.
9. Коптелов Ю.М. Исследование и численное решение некоторых обратных задач электроэнцефалографии: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 1988. 29 с.
10. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М.: «МЕД-пресс-информ», 2004. 624 с.
11. Infotables.ru©2014–2022. Цитоархитектонические поля по Бродману, их локализация, функции и нарушения. [Электронный ресурс]. URL: <https://infotables.ru/meditsina/1101-polya-po-brodmanu> (дата обращения: 17.10.2022).
12. Gavron A.A., Deza-Araujo Y.I., Sharova E.V., Smimov A., Knyazev G., Chelyapina-Postnikova M.V., Fadeeva L., Abdulaev A., Kulikov M.A., Zhavoronkova L.A., Boldyreva G.N., Verkhlyutov V.M., Pronin I. Group and Individual fMRI Analysis of the Main Resting State Networks in Healthy Subjects. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2020. Vol. 50. No. 3. P. 288–297. DOI: 10.1007/s11055-020-00900-7.
13. Верхлютов В.М., Соколов П.А., Ушаков Л.В., Величковский Б.М. Макроскопические функциональные сети головного мозга человека при просмотре и припоминании коротких видеосюжетов // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2015. Т. 65. № 3. С. 333–343.
14. Шевелев И.А. Волновые процессы в зрительной коре мозга // *Природа*. 2001. № 12.
URL: http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/NATURE/12_01/ALPHA.HTM (дата обращения: 17.07.2022).
15. Барк Е.Д. Исследование альфа-ритма ЭЭГ как распространяющегося волнового процесса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2006. 18 с.

УДК 616.727.2-002

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ПРИ ОСТЕОАРТРИТЕ ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА В УСЛОВИЯХ ПОЛИКЛИНИКИ

Майко О.Ю., Тукунова Г.Б.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России, Оренбург, e-mail: omajko@yandex.ru, ambulatoria2000@inbox.ru

Цель статьи – установить клинические показатели и параметры качества жизни у больных остеоартритом (ОА) плечевых суставов в амбулаторных условиях. В исследование были включены 30 пациентов с диагнозом ОА плечевого сустава. Критерии включения: возраст старше 18 лет, выраженность болевого синдрома в области плечевого сустава ≥ 40 мм по ВАШ, информированное согласие пациента. Проводилась оценка клинических показателей и параметров КЖ по шкалам ВАШ и Константа. При ОА плечевого сустава наряду с выраженным болевым синдромом выявлено значительное снижение параметров КЖ по шкалам ВАШ и Константа. Исходно суммарное значение шкалы Константа составило $50,03 \pm 14,86$ балла и характеризовалось как «неудовлетворительное» функциональное состояние пациентов. Умеренные или выраженные нарушения выявлены у 90%, затруднения при уходе за собой – у 60%, при выполнении повседневной активности – у 76,7% больных. Выраженность болевого синдрома по ВАШ в покое составила $40,5 \pm 3,1$ мм, при движении – $70,67 \pm 19,23$ мм, ВАШ ООСП – $50,36 \pm 3,5$ мм, причем у большинства (86,7%) пациентов выявлялись тревога и депрессия. Наиболее значимые отклонения отмечались по шкалам боли – $5,74 \pm 1,81$, функциональных ограничений – $10,16 \pm 3,6$ и амплитуды сгибательных и ротационных движений – $2,6 \pm 0,93$ и $3,1 \pm 0,68$ балла. Показатели по амплитуде движений в пораженном суставе: сгибание, разгибание, наружная и внутренняя ротация – соответствовали «наихудшим значениям». Таким образом, установлены ухудшение клинических показателей и снижение КЖ у больных ОА плечевых суставов с хроническим болевым синдромом в области плеча. Шкалы Константа и ВАШ целесообразно использовать в качестве дополнительных инструментов оценки клинического состояния и КЖ пациента, так как они позволяют выявить выраженность функциональных изменений и особенности КЖ при ОА плечевого сустава в амбулаторных условиях.

Ключевые слова: остеоартрит, плечевой сустав, качество жизни, шкала Константа

ASSESSMENT OF THE PARAMETERS OF THE QUALITY OF LIFE IN OSTEOARTHRITIS OF THE SHOULDER JOINT IN A POLYCLINIC

Maiko O.Yu., Tukenova G.B.

Orenburg State Medical University, Orenburg, e-mail: omajko@yandex.ru, ambulatoria2000@inbox.ru

To establish clinical indicators and quality of life parameters in patients with osteoarthritis (OA) of the shoulder joints in outpatient settings. The study included 30 patients diagnosed with OA of shoulder joint. Inclusion criteria: age over 18 years, the severity of pain in the shoulder joint area ≥ 40 mm according to the VAS scale, informed consent of the patient. Clinical indicators and parameters of QL were evaluated according to the VAS scale and the Constant questionnaire. By OA of the shoulder joint, along with a pronounced pain syndrome, a significant decrease in the parameters of QL on the VAS and Constant scales was revealed. Initially, the total value Constant scale was 50.03 ± 14.86 points and was characterized as an «unsatisfactory» functional condition of patients. Moderate or severe disorders were detected in 90%, difficulties in self-care – in 60%, while performing daily activities – in 76.7%. The severity of the pain syndrome according to VAS at rest was 40.5 ± 3.1 mm, in motion 70.67 ± 19.23 mm, VAS by general well-being of the patient 50.36 ± 3.5 mm, and in most (86.7%) patients anxiety and depression were detected. The most significant deviations were noted on the pain scales – 5.74 ± 1.81 , functional limitations – 10.16 ± 3.6 and the amplitude of flexion and rotational movements – 2.6 ± 0.93 and 3.1 ± 0.68 points. Indicators of the amplitude of movements in the affected joint: flexion, extension, external and internal rotation corresponded to the «worst values». Thus, a pronounced violation of clinical parameters and a decrease in QL parameters were revealed in patients with OA of the shoulder joints with chronic pain syndrome in the shoulder area. It is advisable to use the Constant and the VAS scales as additional tools for assessing the clinical condition of the patient, since it allows you to identify the severity of functional changes and the QL in OA of the shoulder joint in outpatient settings.

Keywords: osteoarthritis, shoulder joint, quality of life, Constant shoulder scale

Остеоартрит (ОА) – заболевание, характеризующееся сочетанием дегенеративных процессов хрящевой ткани и субхондральной кости с синовиальным воспалением [1, 2]. Современные представления об ОА констатируют отношение к суставу как к единому органу с воспалительными, иммунными, метаболическими и функциональными нарушениями в нем. По данным литературы, преобладает локализация процесса – поражение коленного сустава, голеностопного и суставов стоп, плечевого сустава. В структуре тендинитов

и энтезопатий также лидирующее положение занимает плечевой сустав [2, 3, 4].

ОА плечевого сустава является крайне болезненным состоянием, характеризуется хронизацией болевого синдрома в течение нескольких месяцев. Кроме того, ОА плечевого сустава приводит к нарушению функциональной активности всей верхней конечности, выраженному ухудшению параметров качества жизни (КЖ) пациентов и является частой причиной временной утраты трудоспособности [2, 3].

Таблица 1

Шкала Константа (Constant Shoulder Score)

Ответьте на все вопросы, выбирая только один ответ, если не указано иное
(в течение предыдущих 4 недель)

Боль	очень сильная	0
	сильная	5
	умеренная	10
	нет боли	15
Уровень активности (выберите подходящий ответ)	здоровый сон	Да (2) нет (0)
	полноценный отдых/спорт	Да (4) нет (0)
	полноценное выполнение обязанностей на работе	Да (4) нет (0)
Уровень, до которого вы можете поднять руку на стороне пораженного сустава	до уровня поясицы	2
	до уровня мечевидного отростка	4
	до уровня шеи	6
	до уровня макушки	8
	выше уровня головы	10
Сила отведения	–0	0
	– 0,5–1,5	2
	–2–3	5
	–3,5–4,5	8
	–5–6	11
	–6,5–7,5	14
	–7,5–9	17
	–9,5–10,5	20
	–11–12	23
	– более 12	25
Сгибание, в градусах	–0–30	0
	–31–60	2
	–61–90	4
	–91–120	6
	–121–150	8
	–151–180	10
	–0–30	0
	–31–60	2
	–61–90	4
	–91–120	6
	–121–150	8
	–151–180	10
Наружная ротация, в градусах	рука над головой, локоть впереди	2
	рука над головой, локоть сзади	4
	рука на вершухе головы, локоть впереди	6
	рука на вершухе головы, локоть сзади	8
	полное поднятие руки	10
Внутренняя ротация, в градусах	боковая поверхность бедра	0
	ягодица	2
	пояснично-крестцовое сочленение	4
	поясница (L3)	6
	12-й позвонок (T12)	8
	межлопаточная область (T7)	10

Стандартизированными, адаптированными к применению в российском здравоохранении, наиболее полно характеризующими функциональное состояние пациентов с болевым синдромом в области плечевых суставов при различных патологиях являются опросники ASES (American Shoulder and Elbow Score), SST (Simple Shoulder Test), шкала Константа (Constant Shoulder Score), визуальная аналоговая шкала (ВАШ) [5, 6, 7, 8]. Наиболее часто эти инструменты применяются в ортопедической практике для оценки функционального состояния, КЖ и эффективности хирургического лечения при патологии плечевых суставов [5, 9]. Опросник Константа – 100-балльная шкала, содержащая вопросы для оценки выраженности боли, повседневной активности, мобильности, положения руки, мышечной силы. Указанный тест применяется для уточнения состояния пациента с различными симптомами, связанными с верхними конечностями, и позволяет выявить даже небольшие изменения; содержит четыре подраздела: болевой синдром (максимально 15 баллов), ежедневная активность (максимально 20 баллов), мышечная сила (максимально 25 баллов) и амплитуда движений (поднимание, вращение наружу, абдукция (отведение) и вращение плеча внутрь (максимально 40 баллов)). Чем выше количество набранных баллов, тем ниже качество функционирования: >30 – «плохо», 21–30 – «удовлетворительно», 11–20 – «хорошо», <11 – «отлично» (табл. 1) [5, 6].

Цель исследования: установить клинические показатели и параметры КЖ у больных остеоартритом плечевых суставов в амбулаторных условиях.

Материалы и методы исследования

В исследование включены 30 пациентов, обратившихся в поликлинику с болевым синдромом в области плечевого сустава с выраженностью по ВАШ ≥ 40 мм. Диагноз ОА устанавливали на основании критериев Американской коллегии ревматологов (1986). Рентгенологическую стадию ОА оценивали согласно классификации Kellgren-Lawrence. Критерии включения: выраженность болевого синдрома в области плечевого сустава ≥ 40 мм по ВАШ, рентгенологические изменения (сужение суставной щели, остеофиты и/или остеосклероз субхондральной кости), информированное согласие пациента. Критерии исключения: посттравматические, врожденные заболевания, ревматические заболевания другой этиологии (метаболические болезни (охроноз, гемохроматоз),

эндокринопатии, микрокристаллические, иммуновоспалительные), тяжелая соматическая патология, онкологические заболевания, локальная терапия глюкокортикостероидными препаратами в течение 3 месяцев до начала исследования.

Оценивали следующие клинические показатели: выраженность болевого синдрома и общее состояние пациента (ООСП) по шкале ВАШ (мм), боль в области плеча в покое, при движении и пальпации, ночную боль и степень нарушения объема движений (отведение, сгибание, наружное и внутреннее вращение) при помощи гониометра в градусах. При УЗИ плечевых суставов оценивали изменения в капсуле, краевые поверхности, форму головки плечевой кости, остеофиты, состояние суставного хряща, сухожилий, наличие синовита и поражения сухожилий мышц.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения Statistica 10. Оценивали среднее значение (M), среднее квадратичное отклонение (стандартное отклонение (SD)). Различия признавались статистически достоверными при условии $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Большинство (60%) пациентов составляли женщины в возрасте от 37 до 65 лет, средний возраст – $58,73 \pm 8,21$ года. Из анамнеза было известно, что причиной возникновения боли у всех пациентов была физическая перегрузка сустава. Из-за неэффективности применения различных НПВП больные вынуждены были повторно обращаться к врачам поликлиники. Длительность заболевания составила от 0,5 до 3 лет (средняя – $1,37 \pm 0,74$ года), с продолжительностью болевого синдрома от 1 до 3 месяцев (средняя – $2,73 \pm 0,69$ месяца). Преобладало одностороннее поражение плечевых суставов (60%), при двухстороннем процессе выраженность симптоматики оценивалась по более пораженному суставу. Олигоартрит отмечался у 43% пациентов, полиостеоартрит – у 57%. Преобладала 2-я рентгенологическая стадия ОА (80%), реже встречалась 1-я стадия (20%). Ожирение 1–2-й степени выявлено у 50%, артериальная гипертензия – у 56,7%, ИБС – у 16,7%, остеохондроз позвоночника – у 60% пациентов (табл. 2).

По данным клинического обследования, на момент обращения у всех пациентов отмечался выраженный длительный болевой синдром в области плечевого сустава с хронизацией процесса до 3 месяцев и более.

Таблица 2

Клиническая характеристика пациентов, включенных в исследование

Показатель	Пациенты (n=30)
Пол (n, %): Мужчины / Женщины	12 (40%) / 18 (60%)
Возраст, лет (M±SD)	58±8,21
Длительность заболевания, лет (M±SD)	1,37±0,74
Длительность обострения, месяцев (M±SD)	2,73±0,69
Поражение: 1 плечевого сустава, (n, %) 2 плечевых суставов	18 (60%) 12 (40%)
R-стадия ОА (n, %): 1/2	6 (20%)/24(80%)
Олигоартрит (<3 различных суставных групп) Полиостеоартрит (3 и более различных суставных групп)	13 (43%) 17 (57%)
ВАШ в покое, мм	40,5±3,1
ВАШ при движении, мм	70,67±19,29
ВАШ ООСП, мм	50,36±3,5
Шкала Константа (суммарное значение), баллы	50,03±14,68
Подразделы: Боль, баллы	5,74±1,81
Функциональные ограничения, баллы	10,16±3,6
Сила мышц в плечевом суставе, баллы	2,6±0,95
Амплитуда движения, баллы: отведение сгибание внутренняя ротация наружная ротация	10,17±3,65 2,6±0,93 3,1±0,71 3,1±0,68

Примечание: ООСП – оценка общего самочувствия пациентом.

Так, исходные показатели выраженности боли по ВАШ в покое составили 40,5±3,5 мм, при движении – 70,67±19,29 мм, ночной боли – 13,4±1,9 мм, боли при пальпации – 44,9±3,1 мм, ВАШ по ООСП – 50,36±3,5 мм. По степени выраженности только умеренный болевой синдром (до 40 мм по ВАШ) отмечался у 3% пациентов, выраженный (от 60 до 80 мм) – у 73% и очень выраженный (от 80 до 100 мм) – у 23,3%. Самый выраженный болевой синдром возникал при заведении кисти за спину. При такой позиции проводилась пальпация малого бугорка плечевой кости и прикрепленного к нему сухожилия подлопаточной мышцы. Болезненность заднего отдела вращающей манжеты плеча и большого бугорка плечевой кости оценивалась при положении кисти больной руки на контралатеральном плече.

Наиболее часто при пальпации плечевого сустава определялась болезненность в области локализации длинной головки (ДГ) двуглавой мышцы плеча – у 14 пациентов (46,7%), реже – в области надлопаточной мышцы – у 8 (26,7%) и подлопаточной мышцы – у 7 (23,3%). Усиление болей, как правило, отмечалось рано утром и/или ближе к вечеру и в первой половине ночи.

Все пациенты имели функциональные ограничения, которые приводили к значительному снижению КЖ и повседневной активности. По шкале Константа большинство пациентов (66,7%) отмечали умеренно выраженную ежедневную боль, а у трети больных была очень сильная боль постоянного характера и выраженная ежедневная боль (соответственно 23,3% и 10%). Средний балл по шкале боли составил 3,47±0,86 (табл. 2). При пальпации плеча болезненность диагностировалась у всех пациентов, причем у большинства – в области грудино-ключичного сустава и акромиально-ключичного сустава (76,7%). При отведении руки через сторону вверх диагностировалось поражение надостной мышцы. Боль при супинации предплечья указывает на патологию сухожилия ДГ бицепса (симптом Эргадона) или симптом «поворота ключа в дверном замке».

По разделу «Функциональная активность» выявлены значительные нарушения следующих функций: «заложить руку за голову» и «заложить руку за спину», которые не могли выполнить 17 пациентов (56,7%). Симптом болезненной дуги (проба Доуборна) выявлялся при подъеме и дугообраз-

ном отведении руки вверх через сторону во фронтальной плоскости под углом 60–120°. Средняя «дуга болезненности» была выявлена у 4 (13,3%), верхняя – у большинства пациентов (86,7%). Симптом считается положительным при воспалении субакромиальной сумки, которая ущемляется между акромионом и большим бугорком плечевой кости. Резистивные активные движения (активное отведение) и наружная ротация были ограничены у 17 человек (56,7%), активная внутренняя ротация – у 24 человек (80%), резистивная супинация – у 13 (43,3%). В целом объем ограничения движений в пораженном суставе составил $51,33 \pm 23,0\%$ и колебался от 20% до максимального 80%. Так, у 6 пациентов (20%) отмечались минимальные ограничения объема движений, у 4 (13,3%) ограничения составили 50%, и по 10 пациентов имели ограничения по 60% и 80%. Неврологические симптомы, такие как периодические парестезии, нарушения чувствительности и снижение мышечной силы, отмечались у половины пациентов. Причем болевой синдром сопровождался нарушением сна у 14 (46,7%) больных и снижением полноценной работоспособности у всех пациентов. Все пациенты указывали на ограничение функциональной активности, причем у 7 (23,3%) человек ограничения были настолько сильно выраженными, что они старались исключить любую активность. Почти половина больных (46,7%) испытывали ежедневные ограничения в своей функциональной активности и отмечали невозможность выполнения повышенной нагрузки.

Функция отведения была значительно ограничена у всех больных. Так, поднять руку до талии могли только 23,3%, до уровня плечевого сустава – 56,7%, до макушки – 20% пациентов. Поднимание веса (в кг) с отведением руки – 6 (20%) не могли выполнить, большинство – 24 человека (80%) – имели ограничения до 0,5–1 кг. Ограничение сгибания в плечевом суставе до 151–180° отмечали 6 (20%), до 31–60° – 7 (23,3%), до 61–90° – 17 (56,7%) пациентов. Амплитуда отведения была значительно ограничена у большинства (80%) больных. Наружное вращение без ограничения могли выполнить только 4 человека (13,3%), у 9 (30%) ограничение было полным, у 17 (56,7%) – умеренно ограничено. Внутреннее вращение не могли выполнить 13,3%, максимально ограничено (до боковой поверхности бедра) оно было у 13,3% больных, и 43,3% пациентов отмечали значительное ограничение (до уровня талии), а у 30% были минимальные ограничения (до уровня Th12 грудного позвонка).

Таким образом, умеренные или выраженные нарушения функции плечевого сустава выявлялись у 90% больных, затруднения приводили к нарушению ухода за собой у 60%, снижению повседневной активности – у 76,7%. Средние значения шкал ВАШ ООСП и Константа составили $50,36 \pm 3,5$ мм и $50,03 \pm 14,8$ балла, что соответствовало «не удовлетворительному»/«плохому» функциональному состоянию пациентов и низкому КЖ. Хронизация болевого синдрома и функциональные ограничения в области плечевого сустава привели к тому, что большинство пациентов (86,7%) при этом предъявляли жалобы на депрессию и тревогу.

По данным УЗИ выявляли нарушение экоструктуры, отек, наличие жидкости в синовиальных сумках, фиброз. У всех пациентов визуализировались признаки синовита, часто в сочетании с тендинитами и/или тендовагинитами. Так, преобладал теносиновит ДГ двуглавой мышцы плеча в 56,7% случаев, тендинит – в 30%. Изменение УЗ-структуры хрящевой губы выявлялось у 100% больных. Тендинит надостной мышцы диагностирован у 53,3%, подостной мышцы – у 23,3% пациентов. Изменения в ротаторной манжете были диагностированы у большинства (80%) больных. Толщина суставного хряща составила $1,4 \pm 0,01$ мм, причем у 13% пациентов отмечалось его истончение менее 1,2 мм.

По данным эпидемиологических исследований, ОА страдают 10–12% населения в мире, причем эти больные составляют 60–70% от всех больных с ревматическими заболеваниями [1, 2, 3]. Ряд авторов подчеркивают частое поражение плечевого сустава при ОА, которое занимает 3-е место среди других локализаций [2, 3].

К шкалам, применяемым для оценки функции суставов и КЖ, предъявляются высокие требования по измерению функциональных, психологических и социальных параметров жизнедеятельности пациента [5, 9]. Четкость и стандартизация таких инструментов, как шкалы Константа и ВАШ, позволяют оценить различные клинические аспекты в условиях амбулаторного приема, поскольку время жестко лимитировано. При сложности оценки функции плечевых суставов при ОА в амбулаторных условиях применение шкалы Константа дает возможность оценить функциональное состояние пациента по таким критериям, как боль, функциональные ограничения, повседневная активность, а также оценить эффективность консервативного лечения [5, 6]. В ряде работ показано, что эта шкала применяется при различных заболеваниях (таких как ревматоидный артрит, остеоартрит),

в травматологии и ортопедии и хорошо коррелирует с другими инструментами оценки КЖ [4, 5, 6]. В отечественной литературе чаще встречается описание применения этого теста при патологии плечевого сустава в ортопедической практике [4, 5].

Установлено, что КЖ у больных ОА статистически значимо отличается от популяционных, причём ухудшается как физическое здоровье, так и психологическое состояние [2, 3, 4]. Полученные в нашем исследовании результаты показали, что умеренные или выраженные нарушения функции плечевого сустава выявлялись у большинства (90%) пациентов, причём наибольшие затруднения отмечались при уходе за собой (60%) и при повседневной активности (76,7%). Установлено наличие выраженного болевого синдрома, который по ВАШ в покое составил $40,5 \pm 3,1$ мм, при движении – $70,67 \pm 19,23$ мм. Снижение функциональной активности и постоянный болевой синдром приводили к отрицательному эмоциональному фону у больных. Так, по ВАШ ООСП составило $50,36 \pm 3,5$ мм, причём у большинства пациентов (86,7%) выявлялись тревога и депрессия. Наиболее значимые отклонения по шкале Константа отмечались по разделам «боль» (средн. $5,74 \pm 1,81$ балла), «функциональные ограничения» (средн. $10,16 \pm 3,6$ балла) и амплитуде сгибательных и ротационных движений (средн. $2,6 \pm 0,93$ и $3,1 \pm 0,68$ балла соответственно). Показатели по амплитуде движений в поражённом суставе, такие как сгибание, разгибание, наружная и внутренняя ротация, соответствовали «наихудшим значениям».

Таким образом, шкалы Константа и ВАШ целесообразно применять в качестве дополнительного инструмента оценки функционального состояния пациента, а также эффективности терапии с точки зрения не только физического, но и психологического состояния в процессе лечения ОА плечевого сустава. Выявленное ухудшение клинических показателей и КЖ, таких как значительная интенсивность боли, сниженная функциональная активность и общее психологическое состояние, свидетельствует о необходимости подбора наиболее

рациональной тактики ведения таких пациентов в амбулаторных условиях.

Выводы

1. Оценка функционального состояния и КЖ по шкалам Константа и ВАШ у больных с ОА плечевого сустава выявила наличие значительных функциональных ограничений на фоне хронического болевого синдрома, характеризующихся нарушениями жизнедеятельности различной степени выраженности и чувством тревоги.

2. Параметры КЖ по шкалам ВАШ и Константа позволяют достоверно представлять состояние здоровья больных при хроническом болевом синдроме в области плечевого сустава и коррелируют с данными клинического и инструментального обследования в условиях поликлиники.

Список литературы

1. Мазуров В.И., Трофимова А.С. Применение методики цветового картирования хрящевой ткани для оценки эффективности терапии остеоартрита // Вестник Новгородского государственного университета. 2016. Т. 97. № 6. С. 44-48.
2. Самарцев В.А., Кадынцев И.В. Дифференцированный подход к диагностике и лечению тендинитов, энтезитов и дегенеративных заболеваний суставов // Пермский медицинский журнал. 2018. Т. XXXV. № 4. С. 46-49.
3. Липина М.М., Лычагин А.В., Архипов С.В. и др. Адаптация основных опросников, применяемых для оценки состояния и функции плечевого сустава при боли в суставе различной этиологии // Кафедра травматологии и ортопедии. 2018. Т. 34. № 4. С. 44-50.
4. Шостак Н.А., Клименко А.А. Боли в плечевом суставе – подходы к диагностике и лечению // Клиницист. 2013. № 1. С. 8-13.
5. Котенко К.В., Епифанов В.А., Епифанов А.В. Заболевания и повреждения плечевого сустава. М.: Геотар-Медиа, 2017. 384 с.
6. Skare O., Brox J.S., Schroder C.P. et al. Responsiveness of five shoulder outcome measures at follow-ups from 3 to 24 months. BMC Musculoskeletal Disorders. 2021. Vol. 22. No. 606. DOI: 10.1186/s12891-021-04483-3.
7. Ebrahimzadeh M.H., Birjandinejad A., Razi S. et al. Oxford Shoulder Score: A Cross-Cultural Adaptation and Validation Study of the personal version in Iran. J. Med. Sci., 2015. Vol. 405. No. 5. P. 404-410.
8. Salomonsson B., Hallberg K. Validity, reliability, and responsiveness of the Swedish version of Western Ontario Osteoarthritis of the Shoulder index. BMC Musculoskelet. Disord. 2022. Vol. 23. No. 351. DOI: 10.1186/s12891-022-05300-1.
9. Roe Y., Soberg H.L., Bautz-Holter E J. et al. A systematic review of measures of shoulder pain and functioning using the International classification of functioning, disability and health. BMC Musculoskelet. Disord. 2013. Vol. 14. No. 73. P. 1-12.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

УДК 616.711-007.53/.55-053.2-089-06:616.831-009.12-053.2

**НАВИГАЦИОННАЯ АССИСТЕНЦИЯ
ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ТЯЖЕЛОГО
НЕЙРОМЫШЕЧНОГО ЛОРДОСКОЛИОЗА У РЕБЕНКА
С ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ****^{1,2}Кокушин Д.Н., ^{1,2}Виссарионов С.В., ¹Хусаинов Н.О., ³Соколова В.В.**¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: partgerm@yandex.ru;²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург;³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

Вопросы хирургической коррекции деформаций позвоночника у детей, страдающих детским церебральным параличом (ДЦП), являются одной из важных проблем современной вертебрологии. Сложность лечения данной патологии обусловлена особенностями и изменениями прежде всего в соматическом статусе, трофике мягких тканей, снижением потенций к регенерации в послеоперационном периоде и повышением количества инфекционных осложнений в области имплантации металлоконструкции. При тяжелых деформациях позвоночника у пациентов с ДЦП, относящихся к III–V классам по шкале GFMS, проведение коррекции и стабилизации деформации позвоночника обуславливает необходимость в использовании позвоночно-тазовой фиксации, что тоже, в свою очередь, увеличивает объем, тяжесть и травматичность хирургического вмешательства, что является предпосылкой для развития глубокой раневой инфекции в ложе металлоконструкции в послеоперационном периоде. При установке транспедикулярных опорных элементов в позвонки, а также использовании позвоночно-тазовой фиксации важен контроль корректности и безопасности установки винтов в костные структуры, осуществляемый путем использования флюороскопического контроля, использования С-дуги, O-arm, интраоперационной КТ-навигации, роботоассистенции. Однако данные методики связаны с увеличением лучевой нагрузки. Использование навигационной ассистенции, основанной на предоперационной компьютерной томографии позвоночника, позволило обеспечить корректную и безопасную установку опорных элементов в позвонки, крестец и кости таза, уменьшить травматичность вмешательства, при этом снизив лучевую нагрузку на пациента и персонал операционной, что обусловило устранение лордосколиотической деформации позвоночно-тазового сегмента осевого скелета, радикальное положительное изменение локомоторного потенциала и повышение качества жизни пациента.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, сколиоз, хирургическое лечение, навигация, транспедикулярная фиксация, позвоночно-тазовая фиксация, радиация, дети

**NAVIGATION ASSISTANCE IN THE SURGICAL TREATMENT OF SEVERE
NEUROMUSCULAR LORDOSCOLIOSIS IN A CHILD WITH CEREBRAL PALSY****^{1,2}Kokushin D.N., ^{1,2}Vissarionov S.V., ¹Khusainov N.O., ³Sokolova V.V.**¹G.I. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Pushkin, e-mail: partgerm@yandex.ru;²I.I. Mechnikov North-Western State Medical University named after of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg;³Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg

The issues of surgical correction of spinal deformities in children suffering from cerebral palsy (cerebral palsy) are one of the important problems of modern vertebratology. The complexity of the treatment of this pathology is due to the peculiarities and changes primarily in the somatic status, the trophism of soft tissues, a decrease in the potency for regeneration in the postoperative period and an increase in the number of infectious complications in the implantation of metal structures. In severe spinal deformities in patients with cerebral palsy belonging to classes III–V on the GFMS scale, correction and stabilization of spinal deformity necessitates the use of vertebral-pelvic fixation, which also, in turn, increases the volume, severity and traumatism of surgical intervention, which is a prerequisite for the development of deep wound infection in the bed metal structures in the postoperative period. When installing transpedicular support elements in vertebrae, as well as using vertebral-pelvic fixation, an important point is to control the correctness and safety of installing screws in bone structures, carried out by using fluoroscopic control, the use of C-arc, O-arm, intraoperative CT navigation, robot-assisted. However, these techniques are associated with an increase in radiation exposure. The use of navigation assistance based on preoperative computed tomography of the spine made it possible to ensure the correct and safe installation of supporting elements in the vertebrae, sacrum and pelvic bones, to reduce the traumatic nature of the intervention, while reducing the radiation load on the patient and the operating room staff, which led to the elimination of lordoscoliotic deformation of the vertebral-pelvic segment of the axial skeleton, a radical positive change in locomotor potential and improving the patient's quality of life.

Keywords: cerebral palsy, scoliosis, surgical treatment, navigation, transpedicular fixation, vertebral-pelvic fixation, radiation, children

Вопросы хирургической коррекции деформаций позвоночника у детей, страдающих детским церебральным параличом (ДЦП), являются одной из важных проблем современной вертебрологии. Сложность лечения данной патологии обусловлена особенностями и изменениями прежде всего в соматическом статусе, трофике мягких тканей, снижением потенции к регенерации в послеоперационном периоде и повышением количества инфекционных осложнений в области имплантации металлоконструкции. В то же время проведение таких оперативных вмешательств в более зрелом возрасте у взрослых пациентов не снижает количество осложнений, приводя к увеличению тяжести и травматичности хирургического лечения нейромышечной деформации позвоночника. При тяжелых деформациях позвоночника у пациентов с ДЦП, относящихся к III–V классам по шкале GFMS, проведение коррекции и стабилизации деформации позвоночника обуславливает необходимость в использовании позвоночно-тазовой фиксации, что тоже, в свою очередь, увеличивает объем, тяжесть и травматичность хирургического вмешательства, что является предпосылкой для развития глубокой раневой инфекции в ложе металлоконструкции в послеоперационном периоде [1–3]. При установке транспедикулярных опорных элементов в позвонки, а также использовании позвоночно-тазовой фиксации важен контроль корректности и безопасности установки винтов в костные структуры, осуществляемый путем использования флюороскопического контроля, использования С-дуги, O-arm, интраоперационной КТ-навигации, роботоассистенции. Однако данные методики связаны с увеличением лучевой нагрузки как на пациента, так и на медицинский персонал [4–6]. Наш опыт использования системы активной оптической 3D-КТ навигации, основанной на данных предоперационной компьютерной томографии позвоночника, при оперативной коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом с использованием тотальной транспедикулярной фиксации, показал эффективность данного метода навигационной ассистенции при тяжелых сколиотических деформациях [7, 8].

Цель исследования – описание возможностей применения системы активной оптической 3D-КТ навигации при хирургическом лечении ребенка с тяжелым лордозсколиозом на фоне детского церебрального паралича.

Клиническое наблюдение

Пациент А., 16 лет. Anamnesis morbi. Болен с рождения. На учете у невролога с диагнозом «ДЦП, спастическая диплегия». Многократно оперирован: 2012 год – селективная дорзальная ризотомия; транспозиция впадины после подвздошно-седалищной остеотомии таза слева, корригирующая деторсионно-варизирующая укорачивающая межвертельная остеотомия бедренной кости, открытое вправление бедра, тенотомия приводящих мышц бедра; 2013 год – удлинение сгибателей голени с задним артролизом коленных суставов, удаление спиц из крыла левой подвздошной кости; внесуставной артородез подтаранных суставов, операция Страйера с двух сторон; 2017 год – транспозиция вертлужной впадины после тройной остеотомии таза справа, корригирующая деторсионно-вальгизирующая межвертельная укорачивающая остеотомия бедренной кости с остеосинтезом углообразной металлоконструкцией; 2018 – удаление металлоконструкции из бедренной кости и спиц из костей таза справа. Появление и прогрессирование сколиотической деформации позвоночника отмечено с 9 лет, консервативное лечение без эффекта. Последние полтора года в связи с нарастанием деформации пациент перемещается в инвалидной коляске, утратил способность к вертикализации.

При поступлении проведено комплексное обследование. В неврологическом статусе – ДЦП, спастическая диплегия. GM-FCS 4. Рентгенограммы и КТ позвоночника. На спондилограммах грудного и поясничного отделов позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях при статической нагрузке определяется основная правосторонняя сколиотическая дуга поясничного отдела на уровне Th12-L4 позвонков 80° по Cobb. В сагиттальной плоскости – грудной кифоз не усилен, поясничный гиперлордоз до 106° по Cobb, задняя позвонковая линия ровная. Патологическая ротация и торсия апикальных позвонков 4 ст., клиновидность тел и дисков на вершине дуги. Кости тазового кольца с ротацией влево, наклоном кпереди. Признак Риссера не оценить. Децентрация головки правой бедренной кости. На серии аксиальных срезов, при построении мультипланарных и объемных реконструкций грудного и поясничного отделов позвоночника дополнительно определяются дегенеративно-дистрофические изменения сегментов на вершине сколиотической дуги. Сближены остистые отростки на вершине поясничного лордоза. Интракорпоральные

вдавления Шморля тел грудных позвонков. Очаговых изменений костной ткани нет. Позвоночный канал без включений патологической плотности, деформирован на вершине сколиоза. Вальгусная деформация проксимального отдела бедренной кости справа, с краниолатеральным и задним смещением (ретроверзией головки с дистрофическими изменениями костной ткани по задней поверхности) бедренного компонента; варусная деформация проксимального отдела бедренной кости слева, с грибовидной деформацией головки, укорочением шейки с высоким положением большого вертела, источением дна впадины. Заключение: лучевая (рентген, КТ) картина вторичного левостороннего лордосколиоза поясничного отдела позвоночника нейроморфогенного генеза, 4 степени.

МРТ головного мозга, грудного и поясничного отделов позвоночника и спинного мозга: на серии МР-томограмм, взвешенных по T1 и T2 в трех плоскостях, визуализированы суб- и супратенториальные структуры. Участки изменения интенсивности МР-сигнала от вещества головного мозга не определяются. Боковые желудочки мозга симметричные (D=S), расширены за счет задних рогов. III и IV желудочки не изменены. Имеется недоразвитие задних отделов мозолистого тела. Субарахноидальное пространство выражено равномерно, не расширено. Гипофиз однородной структуры. Воронка гипофиза не смещена. Перекрест зрительных нервов без особенностей. Слуховые нервы симметричные, интенсивность МР-сигнала от них не изменена. Срединные структуры не смещены. Миндалины мозжечка расположены на уровне большого затылочного отверстия. Заключение: МР-

картина умеренной гидроцефалии, гипоплазии мозолистого тела. На серии МРТ грудно-поясничного отделов позвоночника в трех стандартных плоскостях, выполненных в режимах T1-T2ВИ, в сагиттальной плоскости физиологические изгибы позвоночника деформированы за счет гиперкифоза (57°) грудного отдела, гиперлордоза поясничного отдела, во фронтальной плоскости в грудном отделе позвоночника определяется сколиотическая деформация позвоночника – левосторонняя сколиотическая дуга с вершиной на уровне LII (с углом искривления 56°), с клиновидностью тел позвонков и м/п дисков, со снижением высоты на вогнутой стороне сколиотической дуги. Позвоночный канал визуализируемых отделов без значимого сужения. Субарахноидальное пространство проходимо. Внутриканальные образований не выявлено. Спинной мозг представлен единым стволом, однородной структуры, повторяет изгибы позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях, смещен в позвоночном канале вправо и кзади на вершине деформации. Конус спинного мозга на уровне L2. Корешки конского хвоста спинного мозга нечетко дифференцируются. Достоверных данных за грыжи, протрузии м/п дисков не выявлено. Заключение: МР-картина левосторонней лордосколиотической деформации грудного и поясничного отделов позвоночника, интракранальной патологии не выявлено (рис. 1).

Из дорсального доступа выполнено хирургическое вмешательство: коррекция и стабилизация деформации позвоночника и таза многоопорной транспедикулярной металлоконструкцией под контролем системы активной оптической 3Д-КТ навигации. Задний спондилодез аутоотрансплантатами.



Рис. 1. Данные лучевого исследования пациента А., 16 лет, до операции:
 А – панорамные рентгенограммы (прямая и боковая проекции);
 Б – КТ позвоночника (3D-реконструкция)

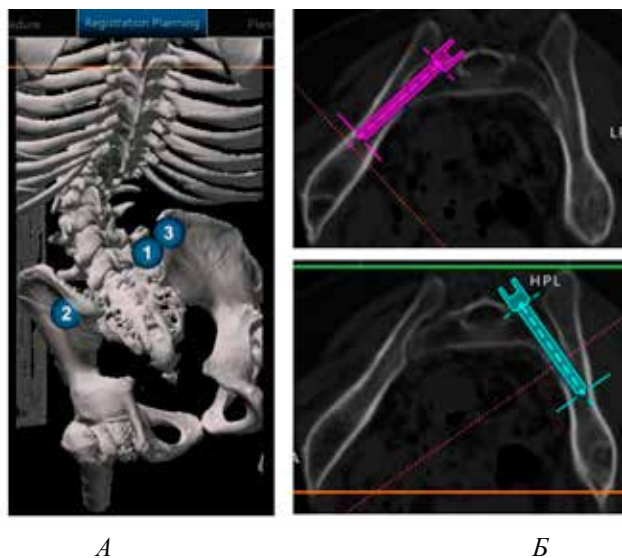


Рис. 2. Предоперационное планирование в навигационной станции:
 А – планирование референтных точек для интраоперационной регистрации;
 Б – планирование положения виртуальных винтов для фиксации S2 – крыло подвздошной кости

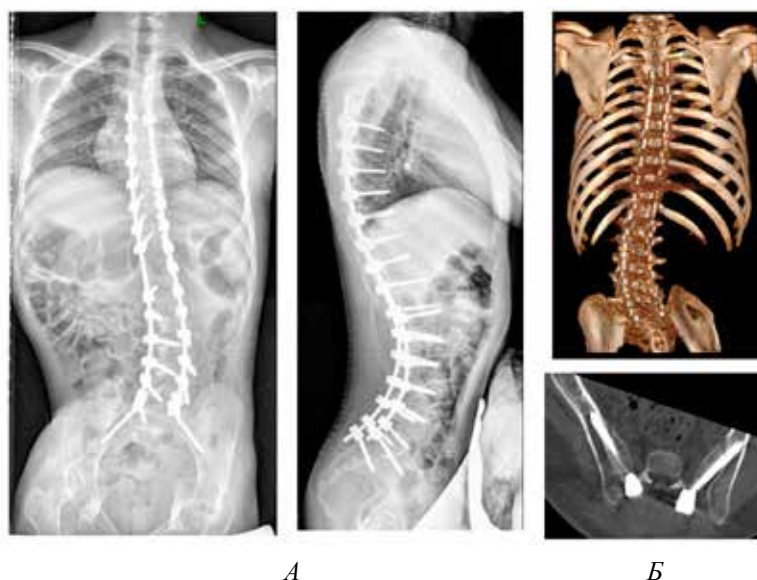


Рис. 3. Данные лучевого исследования пациента А., 16 лет, после операции:
 А – панорамные рентгенограммы (прямая и боковая проекции);
 Б – КТ позвоночника (положение винтов S2 – крыло соответствует положению запланированных виртуальных винтов в навигационной станции)

Ход хирургического вмешательства.
 В положении пациента на животе выполнен разрез мягких тканей по линии остистых отростков от Th4 до S3 позвонков. Скелетированы с трудом ввиду выраженности деформации позвоночника задние элементы позвонков на протяжении. С применением активной 3Д-КТ навигации установлены транспедикулярные винты: слева в тела Th8, Th9, Th10, Th11, Th12, L1, L2, L3, L4, L5, S1 позвонков и винт S2 – кры-

ло подвздошной кости; справа в тела Th5, Th6, Th7, Th8, Th9, Th10, Th11, L1, L2, L3, L4, L5, S1 позвонков и винт S2 – крыло подвздошной кости (рис. 2).

Супраламинарный крюк на Th5 позвонок справа. Всего 27 опорных элементов. Произведена задняя мобилизация позвоночника. Первый стержень изогнут по форме физиологических изгибов позвоночника, погружен в опорные элементы по правой стороне, фиксирован гайками. Второй стержень

жень смоделирован в соответствии с нормальным сагиттальным профилем позвоночника, погружен в опорные элементы по левой стороне. Стержень в опорных элементах фиксирован гайками. По стержням произведена сегментарная коррекция деформации. Рентгенологический контроль. Система стабильна. Выполнен задний спондилодез аутокостью. Вдоль стержней и опорных элементов конструкции уложены костные аутотрансплантаты. Контроль раны на гемостаз и инородные тела. Установлен раневой дренаж. Рана ушита наглухо отдельными узловыми швами. Непрерывный шов ПЖК. Степлерные швы на кожу. Асептическая наклейка. Пациент на ИВЛ переведен для дальнейшего наблюдения в палату ОАРИТ.

Рентгенограммы и КТ позвоночника после хирургического лечения: прослеживается двустержневая многоопорная металлоконструкция на уровне Th5-S2-Ilium. Остаточная правосторонняя сколиотическая дуга поясничного отдела 22° по Cobb. В сагиттальной плоскости грудной кифоз не усилен, поясничный лордоз откорректирован до 52° по Cobb, задняя позвонковая линия ровная (рис. 3).

Послеоперационный период протекал гладко, без осложнений. Вертикализирован на пятые сутки после операции. Заживление послеоперационной раны первичным натяжением.

Впервые за прошедшие полтора года ребенок начал передвигаться с поддержкой на ходунках.

Результаты исследования и их обсуждение

Многокомпонентность патогенетических механизмов, неоднозначность результатов консервативного и хирургического лечения определяют необходимость мультидисциплинарного подхода и разработки протоколов ведения пациентов с нейрогенными деформациями позвоночника. Авторы отмечают, что хирургическое лечение больных с деформациями позвоночника при нейродегенеративных и нейромышечных заболеваниях сопровождается высоким уровнем осложнений и повторных вмешательств [1, 2]. Принятие хирургического решения по поводу сколиоза у пациентов с ДЦП может быть затруднено, учитывая желание максимизировать рост при минимизации побочных эффектов. Выполнение окончательного спондилодеза является жизнеспособным вариантом, который обеспечивает хорошую коррекцию, остающуюся стабильной в течение пяти лет после операции [9].

Винты S2-alar-iliac продемонстрировали благоприятные результаты с точки зрения

стабильности и осложнений, но остается вопрос о сохранении подвижного сегмента для поддержания равновесия в положении сидя, взаимодействия между бедром и позвоночником, влияния на сагиттальный баланс и проблемы с проксимальным соединением. Отмечено улучшение качества жизни у пациентов с церебральным параличом. Необходимы дальнейшие проспективные исследования или рандомизированные клинические испытания для оценки долгосрочных результатов пояснично-крестцовой фиксации, сохранения пояснично-крестцового сустава или функционального улучшения. Винты S2-alar-iliac являются безопасным и эффективным методом фиксации таза у детей с деформацией позвоночника. Результаты через ≥ 10 лет являются удовлетворительными, с низким уровнем отдаленных осложнений и отличной послеоперационной коррекцией и последующим поддержанием фронтального баланса и наклона таза с течением времени [10, 11].

Точное позиционирование опорных винтовых элементов важно при хирургической коррекции и фиксации позвоночно-тазового сегмента у детей с нейромышечными сколиозами. Интраоперационная визуализация в хирургии позвоночника используется как для определения правильного уровня, так и для безопасного размещения имплантатов. Применение робототехники в сочетании с компьютерной навигацией позволяет улучшить результаты хирургического лечения. Однако данные методики связаны с повышенной лучевой нагрузкой пациента и/или персонала, что обуславливает необходимость принятия решения об использовании любого конкретного метода визуализации во время операции на позвоночнике [4–6]. Применение системы активной оптической 3D-КТ навигации, основанной на предоперационном КТ, позволило исключить необходимость КТ-сканирования в ходе хирургического вмешательства, являясь альтернативой таким методам контроля, как O-arm и интраоперационный компьютерный томограф. Радикальная коррекция деформации позвоночника, устранение болевого синдрома и перевод ребенка из категории «колясочных пациентов» в категорию пациентов, способных к передвижению со вспомогательными средствами, положительно влияет на качество жизни и социальный статус человека [12, 13].

Заключение

Использование навигационной ассистенции, основанной на предоперационной компьютерной томографии позвоночника, позволило обеспечить корректную и безо-

пасную установку опорных элементов в позвонки, крестец и кости таза, уменьшить травматичность вмешательства, при этом снизив лучевую нагрузку на пациента и персонал операционной, что обусловило устранение лордосколиотической деформации позвоночно-тазового сегмента осевого скелета, радикальное положительное изменение локомоторного потенциала и повышение качества жизни пациента.

Список литературы

1. Прудникова О.Г., Гуца А.О., Шатина И.Н. Нейрогенные деформации позвоночника взрослых: современные проблемы и подходы к лечению // Хирургия позвоночника. 2018. № 15 (3). P. 39–51. DOI: 10.14531/ss2018.3.39-51.
2. Щурова Е.Н., Рябых С.О., Филатов Е.Ю., Очирова П.В., Рябых Т.В. Современный взгляд на проблему массы тела, индекса массы тела у детей с деформацией позвоночника вследствие церебрального паралича: систематический обзор // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2020. Т. 8. № 3. С. 343–354. DOI: 10.17816/PTORS33938.
3. Sheu J., Cohen D., Sousa T., Pham K.L.D. Cerebral Palsy: Current Concepts and Practices in Musculoskeletal Care. *Pediatr Rev.* 2022. No. 43 (10). P. 572–581. DOI: 10.1542/pir.2022-005657.
4. Scott M.C., Galivanche A.R., Mets E.J., Pathak N., Khan J.B., Burroughs P.J., Varthi A.G., Rubin L.E., Grauer J.N. Patients' and Physicians' Knowledge of Radiation Exposure Related to Spine Surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020. No. 45 (22). E1507-E1515. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003650.
5. Nelson E.M., Monazzam S.M., Kim K.D., Seibert J.A., Klineberg E.O. Intraoperative fluoroscopy, portable X-ray, and CT: patient and operating room personnel radiation exposure in spinal surgery. *Spine J.* 2014. No. 14 (12). P. 2985–2991. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.06.003.
6. Pennington Z., Cottrill E., Westbroek E.M., Goodwin M.L., Lubelski D., Ahmed A.K., Sciubba D.M. Evaluation of surgeon and patient radiation exposure by imaging technology in patients undergoing thoracolumbar fusion: systematic review of the literature. *Spine J.* 2019. No. 19 (8). P. 1397–1411. DOI: 10.1016/j.spinee.2019.04.003.
7. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Надиров Н.Н. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа LENKE I с применением тотальной транспедикулярной фиксации // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Т. 2. № 2. С. 3–8.
8. Виссарионов С.В., Филиппова А.Н., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В., Белянчиков С.М., Хусаинов Н.О. Хирургическая коррекция тяжелых форм идиопатического кифосколиоза у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2019. Т. 7. Вып. 3. С. 5–14. DOI: 10.17816/PTORS735-14.
9. Howard R., Sponseller P.D., Shah S.A., Miyajiri F., Samdani A.F., Newton P.O. Harms Study Group Investigators, Yaszay B. Definitive fusion for scoliosis in late juvenile cerebral palsy patients is durable at 5 years postoperatively. *Spine Deform.* 2022. No. 10 (6). P. 1423–1428. DOI: 10.1007/s43390-022-00530-8.
10. Kim H.S., Kwon J.W., Park K.B. Clinical Issues in Indication, Correction, and Outcomes of the Surgery for Neuromuscular Scoliosis: Narrative Review in Pedicle Screw Era. *Neurospine.* 2022. No. 19 (1). P. 177–187. DOI: 10.14245/ns.2143246.623.
11. Mun F., Vankara A., Suresh K.V., Margalit A., Ke-baish K.M., Sponseller P.D. Sacral-Alar-Iliac (SAI) Fixation in Children With Spine Deformity: Minimum 10-Year Follow-Up. *J Pediatr Orthop.* 2022. No. 42 (7). P. 709-e712. DOI: 10.1097/BPO.0000000000002187.
12. Зайцева М.В., Соколова В.В. Результаты субъективной оценки родителями деятельности детской неврологической службы в условиях муниципального здравоохранения // Медицина и организация здравоохранения. 2019. Т. 4. № 2. С. 30–36.
13. Соколова В.В., Зайцева М.В. Оценка заболеваемости болезнями нервной системы детского населения Ростовской области // Медицина: теория и практика. 2019. Т. 4. № 2. С. 12–18.

ИСТИННАЯ ПОЛИЦИТЕМИЯ (ЭРИТРЕМИЯ, БОЛЕЗНЬ ВАКЕЗА)

Шамитова Е.Н., Яковлева Л.М., Салахова Г.Р., Филиппов И.Ю.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: shamitva@mail.ru

Истинная полицитемия – это редкое опухолевое заболевание, относящееся к группе миелопролиферативных заболеваний, развивающееся вследствие поражения клетки-предшественницы миелопоэза и характеризующееся пролиферацией преимущественно эритроцитов. Истинная полицитемия была впервые описана в 1892 г. французским врачом Луи Анри Вакезом. Причины заболевания на данный момент неизвестны. В подавляющем большинстве случаев опухолей выявляются мутации в гене. Истинная полицитемия занимает 4-е место по заболеваемости после хронического миелоидного лейкоза и встречается примерно у пяти человек на миллион жителей в возрасте 55–60 лет. Чаще всего болеют мужчины, женщины, дети болеют крайне редко. Случаи заболевания в молодом возрасте или детском возрасте протекают более неблагоприятно. Вероятность прогрессирования острого лейкоза составляет 0,34% в год в начальный период заболевания, возрастает до 1,1% в год при длительности заболевания более 10 лет. У родственников преимущественно больных истинной полицитемией, идиопатическим миелофиброзом или эссенциальной тромбоцитемией возможна наследственная предрасположенность к развитию заболевания. В статье продемонстрирован клинический случай пациентки, которая больна с детства. Заболевание впервые было выявлено при постановке на учёт по поводу беременности, в анализе крови было обнаружено повышение гемоглобина до 160 г/л. Для постановки окончательного диагноза потребовалась консультация гематолога, онколога. Выполнен широкий перечень диагностических процедур, функциональных методов обследования и консультации специалистов.

Ключевые слова: миелопролиферативные заболевания, истинная полицитемия, JAK2V617F, гематология, тромбоз, таргетная терапия, профилактика

TRUE POLYCYTHEMIA (ERYTHREMIA, VAQUEZ'S DISEASE)

Shamitova E.N., Yakovleva L.M., Salakhova G.R., Filippov I.Yu.

I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: shamitva@mail.ru

True polycythemia is a rare tumor disease belonging to the group of myeloproliferative diseases, developing as a result of damage to the precursor cell of myelopoiesis and characterized by proliferation of mainly erythrocytes. True polycythemia was first described in 1892 by the French physician Louis Henri Vaquez. The causes of the disease are currently unknown. In the vast majority of cases of tumors, mutations in the gene are detected. True polycythemia ranks 4th in morbidity after chronic myeloid leukemia and occurs in about 5 people per million inhabitants aged 55-60 years. Most often, men, women, and children get sick extremely rarely. Cases of the disease at a young age or childhood are more unfavorable. The probability of progression of acute leukemia is 0.34% per year in the initial period of the disease. Increases to 1.1% per year with a disease duration of more than 10 years. Relatives of mostly patients with true polycythemia, idiopathic myelofibrosis or essential thrombocytopenia may have a hereditary predisposition the development of the disease. The article demonstrates a clinical case of a patient who has been ill since childhood. The disease was first detected when registering for pregnancy, an increase in hemoglobin to 160g/l was detected in the blood test. To make a final diagnosis, a consultation of a hematologist, oncologist was required. A wide range of diagnostic procedures, functional examination methods and specialist consultations were performed.

Keywords: myeloproliferative diseases, true polycythemia, JAK2 V617F, hematology, thrombosis, targeted therapy, prevention

Истинная полицитемия (МКБ-10:D 45) – редкое опухолевое заболевание, относящееся к группе болезней миелопролиферативного происхождения и развивающееся в результате предшествующих миелопоэзу клеточных поражений, которые характеризуются пролиферацией большинства эритроцитов, а также гранулоцитов и мегакариоцитов.

Другие особенности заболевания включают лейкоцитоз, спленомегалию, тромбоз, кровотечение, микроциркуляторные симптомы, зуд и риск лейкоемической или фиброзной трансформации.

Ген JAK2 кодирует белок Jak2, относящийся к группе внутриклеточных фермен-

тов, так называемых Janустирозинкиназ. Эти тирозинкиназы названы из-за наличия в их структуре двух активных участков (доменов), имеющих сходную структуру, но выполняющих противоположные функции. В клетках костного мозга Jak2 связан с рецепторами веществ, регулирующих кровяное давление и передающих сигнал, необходимый для роста и созревания клеток. В норме активация Jak2 происходит только при стимуляции. В неактивном состоянии белок Jak2 поддерживается за счет взаимодействия псевдокиназного домена JH2 и киназного домена JH1, входящих в его структуру.

У 95% пациентов с истинной полицитемией мутация V617F возникает в зоне

14 гена JAK2, что нарушает взаимодействие доменов JH1 и JH2. Jak2 всегда находится в активном состоянии и передает сигнал к делению гемопоэтических клеток в отсутствие стимуляции рецептора. В результате чего наблюдается увеличение продукции клеток крови, таких как эритроцитов, тромбоцитов и гранулоцитов, но преимущественно повышается продукция именно эритроцитов.

В 3–5% случаев заболеваемости полицитемией выявляются мутации в зоне 12 гена JAK2 (а именно аминокислотные остатки в положении 537–542 белка Jak2). Эти случаи характеризуются повышенным образованием в костном мозге только эритроцитов. Также описаны редкие случаи истинной полицитемии без мутаций в гене JAK2.

Истинная полицитемия была впервые описана французским терапевтом Луи Анри Вакезом (Louis Henri Vaquez) в 1892 г. В 1967 г. была организована исследовательская группа по изучению истинной полицитемии PVSG (Polycythemia Vera Study Group), целью группы стала разработка подходов к диагностике и лечению опухоли.

Истинная полицитемия (ИП) – это заболевание взрослых, чаще всего пожилых людей, но также встречается у подростков и детей. Истинная полицитемия занимает 4-е место по заболеваемости после хронического миелоидного лейкоза и встречается примерно у пяти человек на миллион жителей в возрасте 55–60 лет. Чаще всего болеют мужчины, женщины; дети болеют крайне редко. Случаи заболевания в молодом возрасте или детском возрасте протекают более неблагоприятно. Морфология костного мозга остается главной в диагностике заболевания. При ИП наиболее важно исключить возможность префиброзного миелофиброза. Вероятность прогрессирования острого лейкоза составляет 0,34% в год в начальный период заболевания, возрастает до 1,1% в год при длительности заболевания более 10 лет [1–3].

Цель исследования – проанализировать по современным данным корреляционную зависимость между возрастом пациентов, длительностью течения заболевания, эффективностью лечения у больных истинной полицитемией и частотой развития у них осложнений.

Материалы и методы исследования

В обзоре литературы анализируются современные российские и зарубежные (исключительно на английском языке) научные статьи, имеющие отношение к теме обзора и представленные в базах данных eLibrary,

PubMed, Scopus и в научной электронной библиотеке КиберЛенинка (Cyberleninka). Был изучен индивидуальный клинический случай.

Клиническая картина эритремии

Ведущую роль в патогенезе полицитемии играет усиление процесса эритропоэза, что вызывает главное изменение – эритроцитоз. Изменяются реологические свойства, свертываемость крови, появляется миелоидная метаплазия селезенки и печени. Высокая вязкость крови приводит к тромбозу сосудов, а в последующем может привести к гипоксии тканей. В конце заболевания может наблюдаться недостаточность кроветворения, что приводит к фиброзу костного мозга.

Первичный наследственный тромбоцитоз может быть вызван мутациями в генах, кодирующих ключевые регуляторы тромбопоэза, т.е. тромбопоэтин (*THPO*) и его рецептор с-MPL (*MPL*) или эффекторную киназу рецептора Januskinase2 (*JAK2*) [4–6].

При полицитемии наблюдаются такие симптомы, как изменение цвета кожи, она приобретает вишнево-красный цвет, особенно специфическая окраска проявляется на открытых участках тела – лице, шее, руках. Язык и губы сине-красные, конъюнктивы глаз гиперемированы. Отмечаются кожный зуд, нарушения мозгового кровообращения, которые проявляются частыми головными болями, ощущениями звона в ушах, головокружениями, нарушениями зрения, транзиторными ишемическими атаками. Ускоряется развитие атеросклероза и тромбоза сосудов, которые могут привести к тромбозу воротной вены печени, инсульту, инфаркту миокарда, поражениям периферических сосудов, токсической и печеночной энцефалопатии; появляются кровотечения (носовые, из ЖКТ); наблюдается спленомегалия [7–9].

В качестве наглядного примера рассмотрим одно из осложнений, которое наиболее часто проявляется при этом заболевании – тромбоз воротной вены печени. Часто, чтобы уменьшить риск кровотечения из этих вен, между нижней поллой веной и системой воротной вены печени устанавливают шунты, это делается для снижения давления и риска кровотечения [10–12]. Однако в результате часть крови, которая берется из кишечника, не попадает в систему воротной вены и не очищается от продуктов жизнедеятельности кишечных возбудителей. К таким продуктам относится аммиак, который играет достаточно весомую роль в патогенезе токсической энцефалопатии, которая развивается на фоне печеночной недостаточности [13–15].

Пациентам с истинной полицитемией требуется флеботомия, которая проводится для поддержания гематокрита на уровне ниже 45%, и назначается аспирин один или два раза в день (81 мг), если нет противопоказаний к данному лекарственному средству. Назначается кровопускание в объеме 200–500 мл с частотой 2–3 раза в 7 дней с последующим восполнением удаленного объема крови кровезаменителями. Например, к таким препаратам относятся: Желатиноль, Реополиглюкин, Полиглюкин, Макродекс. Также проводится электрофорез (процедура афереза, при которой эритроциты отделяются от цельной крови) [16–18].

Препаратом первой линии выбора для миелосупрессивной терапии цитостатиками, является гидроксимочевина, а препаратами второй линии выбора являются интерферон- α и бусульфан. Не рекомендуется лечение риксолутинибом при полицитемии, за исключением случаев наличия выраженного и затяжного зуда или выраженной спленомегалии, не реагирующей на вышеупомянутые препараты [19–21].

Иногда проводят фосфорную лучевую терапию. Для нормализации общего состояния крови под контролем коагулограммы назначают антикоагулянт прямого действия – гепарин, ацетилсалициловую кислоту, дипиридамол; при кровотечениях показаны переливания тромбоцитов; при уратном диатезе показано назначение аллопуринола [22–24]. Циторедуктивная терапия не является обязательной у пациентов среднего риска (возраст > 60 лет, без мутации JAK2 и без тромбоза в анамнезе), и подход к лечению в таких случаях должен быть индивидуализирован [25, 26].

В данной статье представлено описание клинического случая больной истинной полицитемией, которая болеет с детства. На фоне основного заболевания у больной диагностирован тромбоз воротной вены с последующим формированием мезентериально-полостного анастомоза и развилась печеночная энцефалопатия.

Клинический случай

Больная А., 60 лет, находилась на общей профилактической диагностике и лечении в отделении гематологии и химиотерапии Республиканской клинической больницы с жалобами на систематические головные боли, преимущественно проявляющиеся в затылочной области, головокружение, покраснение лица, рук, слабость, одышку, затруднение совершения мелких движений, неустойчивость, систематическую бессонницу, беспокойство и тремор рук. Из истории болезни установлено, что длительное

время страдает артериальной гипертензией, сахарным диабетом II типа.

История болезни. Больна с детства. При постановке на учёт по поводу беременности в анализе крови было обнаружено повышение гемоглобина до 160 г/л. Была проконсультирована гематологом. Выставлен диагноз – наследственный эритроцитоз. Наблюдается гематологом 1–2 раза в 1–2 года, принимает дезагреганты, кровопускания 1–3 раза в 2 года. В 2005 г. оперирована по поводу тромбоза геморроидальных вен. В 2006 г. госпитализирована в городскую клиническую больницу в травматологическое отделение по поводу перелома левой голени, где у нее была рвота кофейной гущей, при дополнительном обследовании обнаружены расширенные вены пищевода, после чего было решено установить зонд Блэкмора. При ультразвуковом исследовании органов брюшной полости выявлены увеличение селезенки и тромбоз воротной вены. На консилиуме врачей было принято решение о проведении операции по установке брыжеечно-кавального шунта. В показателях крови отмечен эритроцитоз, тромбоцитоз, повышение гемоглобина до 170 г/л. На основании этих показателей крови и произошедших в ней изменений больная была направлена на биопсию костного мозга с трепанацией, по результатам которой был установлен окончательный диагноз заболевания миелопролиферативного генеза.

Предыдущая госпитализация в отделении гематологии и химиотерапии БУ «РКБ» с 30.01.2018 по 14.02.2018 – проводилось кровопускание под прикрытием антикоагулянтной терапии. Госпитализирована в связи с выраженным плеторическим синдромом. 30.06.2021, находясь у себя дома, почувствовала слабость в правой половине тела. За помощью в медицинское учреждение не обращалась. Через два дня неврологический дефицит уменьшился, но дискомфорт при мелких движениях всё же сохранялся. После этого эпизода стала беспокоить ежедневная головная боль, преимущественно в затылочной области, самостоятельно принимала нестероидные противовоспалительные препараты.

Анамнез жизни: Пациентка росла и развивалась соответственно своему возрасту. Перенесенные заболевания: острое респираторное заболевание 2–3 раза в год, ангины в детстве, сахарный диабет 2 типа, язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки, перелом правого локтевого сустава, удаление геморроидальных узлов, аппендэктомия, миома матки, наложение мезентерико-кавального шунта. Бытовые условия:

удовлетворительные. Трудовой анамнез: пенсионер, в открытии больничного листа не нуждается. Наследственность: отягощена (у сестры – наследственный эритроцитоз, сахарный диабет). Эпидемиологический анамнез: отхождение гельминтов отрицает, контакт с инфицированными больными отрицает. Аллергологический анамнез: наличие повышенной чувствительности к новокаину по типу отека Квинке, шерсти кошек – в виде появления зудящей сыпи на шее, лице, животе. Трансфузионный анамнез: трехкратное переливание компонентов крови по поводу маточного кровотечения. Реакций не было. Фармакологический анамнез: Зилт, Метформин, Галвус. Прием наркотических, других психотропных и сильнодействующих лекарственных средств – отрицает. Вредные привычки: курила по 5 сигарет в день, 2 года не курит. На диспансерном учёте состоит по поводу наследственного эритроцитоза, сахарного диабета 2 типа. Б-10, Р-1, А-8, В-2. Менопауза с 52 лет. Тяжесть состояния: умеренно удовлетворительное. Объективно: Сознание: ясное. Положение: активное. Кожные покровы: нормальной физиологической окраски, умеренно влажные. Лицо красное. Кисти ярко-малинового цвета с цианотичным оттенком. Видимые слизистые гиперемированные, склеры инъецированы. Телосложение: гипертонического типа, повышенное питание (индекс массы тела 33). На брюшной стенке послеоперационный рубец. Температура тела 36,6 С. Лимфатические узлы не пальпируются. Органы дыхания: в легких выслушивается нормальное везикулярное дыхание, над поверхностью грудной клетки хрипы не выслушиваются, ЧДД 18 в мин. Дыхание свободное через нос, в акте дыхания участвуют обе половины грудной клетки. На момент осмотра одышки не наблюдается. Сердечно-сосудистая система: тоны сердечной деятельности приглушены, ритмичны, ЧСС 70 уд/мин, АД 130/70 мм рт. ст. Органы пищеварения: аппетит хороший. Язык влажный, малиновой окраски, обложен белесоватым налетом. Стул самостоятельный, склонность к запорам. Мочеполовая система: мочеиспускание самостоятельное, адекватное, дизурических явлений не наблюдается. Симптом Пастернацкого с обеих сторон отрицательный. Наблюдаются значительные отеки нижних конечностей. Неврологический статус: уровень сознания – ясный. Контактна, правильно ориентирована в пространстве и во времени. Самостоятельно выполняет все рекомендации, правильно и адекватно отвечает на вопросы. Менингеальные знаки отсутствуют. Зрачки OD = OS, сужены,

фотореакция глаз сохранена, движения глазных яблок не ограничены. Присутствует дискомфорт при взгляде вправо. Лицо несколько асимметрично справа. Язык по средней линии. Речь в норме, нарушение глотания не наблюдается. Отрицательный миоклонус правой руки (астериксис). Сухожильные рефлексы D > S, снижены с голеней. Патологических признаков со стороны стоп не выявляют. Гемигипестезия справа. В положении Ромберга наблюдается выраженное пошатывание. Функции тазовых органов не нарушены. Когнитивные функции по шкале MoCA – 18 баллов.

План обследования: общеклинические, биохимические анализы, коагулограмма, протеинограмма, функциональные методы исследования.

План лечения: дезагрегантная, антикоагулянтная терапия, эксфузионная терапия, антибактериальная терапия, тщательно сбалансированная диета, назначение пробиотиков.

Риск тромбоэмболических осложнений: высокий. Сопутствующий диагноз: язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки вне обострения. Сахарный диабет 2 типа, средней степени тяжести, субкомпенсация.

В общем анализе крови от 30.06.2021: повышение уровня эритроцитов $6,8 \cdot 10^{12}/л$ (4,0–5,0), гемоглобина 195 г/л (120–150), показатели лейкоцитарной формулы в пределах референтных значений. По результатам биохимического анализа крови от 3 0.06.2021 отмечается повышенное содержание ферментов печени: аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы. Также увеличилось содержание калия, натрия, кальция ионизированного, трийодтиронина общего, тиреотропного гормона, меди, марганца. Коагулограмма от 30.06.2021 без отклонений от нормальных значений. Исследование мочи: 30.06.2021: Количество 100 мл; цвет: светло-желтый, прозрачная. Удельный вес: 1008, белок – отриц., сахар – отриц. D-димер экспресс 30.06.2021: 0,431 нг/мл (0–0,7). Электрокардиография от 30.06.2021: Заключение: Частота сердечных сокращений 70 уд/мин, признаки ранней реполяризации в миокарде, неполная блокада правой ножки Гиса. Эхокардиография от 1.07.2021. Заключение: признаки атеросклероза аорты, уплотнение кольца и створок аортального клапана. Уплотнение митрального клапана с регургитацией 1 степени.

Эзофагогастродуоденоскопия от 1.07.2021. Заключение: Язва, рубцово-язвенная деформация луковицы двенадцатиперстной кишки 3 стадии. Хронический гастрит. Кандидоз пищевода 1 степени.

Консультация офтальмолога: гипертоническая ангиопатия сетчатки глаза. Внутречерепной гипертензии нет. Консультация врача общей практики: заболевание миелолифферативного генеза, портальная гипертензия. Наложена печеночная анастомоз в 2006 г. Последствия ишемического инсульта в 2019 г. Дуплексное сканирование магистральных артерий головного мозга: выявлены атеросклеротические проявления в устье правой подключичной артерии. Гемодинамическая деформация хода левой позвоночной артерии в шейном сегменте.

МРТ головного мозга: Исследование проводилось в области грудных сегментов и в аксиальной, коронарной, сагиттальной плоскостях. По сравнению с исследованиями предыдущих лет определяются диффузные области изменения сигнала МР-сигнала; в режимах T2 и T2 белого вещества обоих полушарий головного мозга наблюдается небольшое диффузное усиление интенсивности сигнала. Определяются периваскулярные пространства, внутреннее пространство не изменилось. Структура гипофиза однородная, контуры четкие, размеры также в пределах нормы, воронка гипофиза по средней линии. Желудочки головного мозга имеют нормальную форму и размеры. Остальные части, содержащие ликвор, подпадают под возрастную ценз. Кранио-вертебральный переход без видимых патологий. С учетом давности и истории заболевания, данных функциональных и лабораторных исследований поставлен окончательный диагноз: энцефалопатия смешанного происхождения.

В период госпитализации проводилась нейрометаболическая, антиоксидантная, седативная, дезинтоксикационная и гепатопротекторная терапия. После лечения больная выписана домой в удовлетворительном состоянии. В ходе лечения стабилизировано артериальное давление, улучшено общее состояние, уменьшены отеки нижних конечностей, уменьшена вестибулярная симптоматика

Заключение

Прогноз для больных истинной полицитемией достаточно благоприятный: продолжительность жизни составляет 20 лет, нередко более 20 лет. Но летальность на этапе диагностики остается очень высокой. Тромботические осложнения являются ведущей причиной смертности большинства больных. При длительной давности заболевания возрастает риск прогрессирования заболевания, в результате чего возникает вторичный миелодиспластический синдром, острый лейкоз или постистинная полицитемия.

На сегодняшний день не было показано, что лекарственная терапия улучшает выживаемость или предотвращает лейкоэмическую/фиброзную трансформацию при полицитемии; поэтому основная терапия в первую очередь направлена на профилактику тромбозов сосудов. По данной причине пациенты с низким риском заболеваемости получают только аспирин и антиагрегантную терапию или наблюдение, в то время как циторедукционная терапия предназначена для пациентов с высоким риском. Эффективность основной терапии составляет 14,5–71%. Пациенты имеют ограниченные возможности по отношению к терапии, и многие из них вынуждены продолжать некорректное лечение с побочными эффектами. Стартом для исследования стало открытие мутации гена JAK2.

В настоящее время достаточно широко проводятся клинические испытания над ингибиторами JAK2. Исследуются преимущества ингибиторов гена, которые используются в лечении. И в ходе этих исследований были получены весомые результаты в лечении этого заболевания. К таким препаратам можно отнести Руксолитиниб. Данный препарат является одним из основных ингибиторов JAK2, который был зарегистрирован в Российской Федерации для лечения пациентов. Эти исследования будут направлены на изучение таргетных препаратов, а также на сравнение новых методов лечения.

Список литературы

1. Говорухина Е.В., Хмелева С.Г., Конев Ю.В., Кольцова И.А. Поражения печени у больных с истинной полицитемией // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. М., 2019. 256 с.
2. Трапезникова Н.Н., Поддубной И.В. Справочник по онкологии для студентов медицинской специальности. М., 2016. С. 95–98.
3. Tefferi A., Vannucchi A.M., Barbui T. Polycythemia vera: historical oversights, diagnostic details, and therapeutic views. 2021. No. 35 (12). P. 3339–3351. DOI: 10.1038/s41375-021-01401-3.
4. Stockklauser C., Duffert C.M., Cario H., Knöfler R., Streif W., Kulozik A.E. THROMKID-Plus Studiengruppe der Gesellschaft für Thrombose- und Hämostaseforschung (GTH) and of Gesellschaft für Pädiatrische Onkologie und Hämatologie (GPOH). Ann Hematol. 2021. No. 100 (7). P. 1647–1665. DOI: 10.1007/s00277-021-04485-0.
5. Padda J., Khalid K., Yadav J., Almanie A.H., Mehta K.A., Al Hennawi H., Boddeti N.L. JAK2 and TET2 Mutation in Polycythemia Vera. Campos VYM, Jean-Charles G. Cureus. 2021. Sep 9. No. 13 (9). P. e17854. DOI: 10.7759/cureus.17854.
6. Abu-Zeinah G., Krichevsky S., Cruz T., Hoberman G., Jaber D., Savage N., Sosner C., Ritchie E.K., Scandura J.M., Silver R.T. Interferon-alpha for treating polycythemia vera yields improved myelofibrosis-free and overall survival. 2021. No. 35 (9). P. 2592–2601. DOI: 10.1038/s41375-021-01183-8.
7. Bewersdorf J.P., Giri S., Wang R., Podoltsev N., Williams R.T., Tallman M.S., Rampal R.K., Zeidan A.M., Stahl M. Interferon alpha therapy in essential thrombocythemia and polycythemia vera—a systematic review and meta-analysis. 2021. No. 35 (6). P. 1643–1660. DOI: 10.1038/s41375-020-01020-4.

8. Regimbeau M., Mary R., Hermetet F., Girodon F. Genes (Basel). Genetic Background of Polycythemia Vera. 2022 Apr 2. No. 13 (4). P. 637. DOI: 10.3390/genes13040637.
9. Spivak J.L. How I treat polycythemia vera. Blood. 2019 Jul 25. No. 134(4). P. 341–352. DOI: 10.1182/blood.2018834044.
10. Tefferi A., Vannucchi A.M., Barbui T. Polycythemia vera treatment algorithm 2018. Blood Cancer J. 2018 Jan 10. No. 8 (1). P. 3. DOI: 10.1038/s41408-017-0042-7.
11. Büyükaşık Y., Alı R., Ar C., Turgut M., Yavuz S., Saydam G. Polycythemia vera: diagnosis, clinical course, and current management. Turk J Med Sci. 2018 Aug 16. No. 48 (4). P. 698–710. DOI: 10.3906/sag-1806-43.
12. Ginzburg Y.Z., Feola M., Zimran E., Varkonyi J., Ganz T., Hoffman R. Dysregulated iron metabolism in polycythemia vera: etiology and consequences. Leukemia. 2018. No. 32 (10). P. 2105–2116. DOI: 10.1038/s41375-018-0207-9.
13. Palandri F., Mora B., Gangat N., Catani L. Is there a gender effect in polycythemia vera? Ann Hematol. 2021. No. 100 (1). P. 11–25. DOI: 10.1007/s00277-020-04287-w.
14. Vannucchi A.M., Kiladjian J.J., Griesshammer M., Masszi T., Durrant S., Passamonti F., Harrison C.N., Pane F., Zachee P., Mesa R., He S., Jones M.M., Garrett W., Li J., Pirron U., Habr D., Verstovsek S.N. Ruxolitinib versus standard therapy for the treatment of polycythemia vera. Engl J Med. 2015 Jan 29. No. 372 (5). P. 426–435. DOI: 10.1056/NEJMoa1409002.
15. Latagliata R., Marchioli R., Finazzi G., Musolino C., Iurlo A., Specchia G., Lunghi F., Cacciola R., Cavazzina R., Cilloni D., De Stefano V., Elli E., Lunghi F., Lunghi M., Marfisi R.M., Musto P., Masciulli A., Rapezzi D., Ruggeri M., Rumi E., Scortechini A.R., Santini S., Scarano M., Cascavilla N., Siragusa S., Spadea A., Tieghi A., Angelucci E., Visani G., Randi M.L., Vannucchi A.M., Quarta G., Barbui T. Cardiovascular events and intensity of treatment in polycythemia. Collaborative Group. N Engl J Med. 2013 Jan 3. No. 368 (1). P. 22–33. DOI: 10.1056/NEJMoa1208500.
16. Gerds A.T., Dao K.H. Polycythemia Vera Management and Challenges in the Community Health Setting. Oncology. 2017. No. 92 (4). P. 179–189. DOI: 10.1159/000454953.
17. Kroll M.H., Michaelis L.C., Verstovsek S. Mechanisms of thrombogenesis in polycythemia vera. Blood Rev. 2015 Jul. No. 29 (4). P. 215–221. DOI: 10.1016/j.blre.2014.12.002.
18. Vannucchi A.M. Leeches to personalized medicine: evolving concepts in the management of polycythemia vera. Haematologica. 2017 Jan. No. 102 (1). P. 18–29. DOI: 10.3324/haematol.2015.129155.
19. Vainchenker W., Kralovics R. Genetic and molecular pathophysiology of classical myeloproliferative neoplasms. Blood. 2017 Feb 9. No. 129 (6). P. 667–679. DOI: 10.1182/blood-2016-10-695940.
20. Iurlo A., Cattaneo D., Bucelli C., Baldini L. New Perspectives on Polycythemia Vera: From Diagnosis to Therapy. Int J Mol Sci. 2020 Aug 13. No. 21 (16). P. 5805. DOI: 10.3390/ijms21165805.
21. Milosevic J.D., Kralovics R. Genetic and epigenetic alterations of myeloproliferative disorders. Int J Hematol. 2013. No. 97 (2). P. 183–197. DOI: 10.1007/s12185-012-1235-2.
22. Tong W., Zhang J., Lodish H.F. LNK inhibits erythropoiesis and Epo-dependent JAK2 activation and downstream signaling pathways. Blood. 2005. No. 105 (12). P. 4604–4612. DOI: 10.1182/blood-2004-10-4093.
23. Gery S., Cao Q., Gueller S. et al. LNK inhibits myeloproliferative disorder-associated JAK2 mutant, JAK2V617F. J. Leukoc. Biol. 2009. No. 85 (6). P. 957–965. DOI: 10.1189/jlb.0908575.
24. Gery S., Gueller S., Chumakova K. Adaptor protein LNK negatively regulates the mutant MPL, MPLW515L associated with myeloproliferative disorders. Blood. 2007. No. 110 (9). P. 3360–3364. DOI: 10.1182/blood-2007-05-089326.
25. Pardanani A., Lasho T., Finke C. LNK mutation studies in blast-phase myeloproliferative neoplasms, and in chronic-phase disease with TET2, IDH, JAK2 or MPL mutations. Leukemia. 2010. No. 24(10). P. 1713–1718. DOI: 10.1038/leu.2010.163.
26. Delhommeau F., Dupont S., Della Valle V. Mutation in TET2 in myeloid cancers. N Engl J Med. 2009. No. 360 (22). P. 2289–301. DOI: 10.1056/nejmoa0810069.

СТАТЬИ

УДК 628.9:608.4:58.084.1

**РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛЫ
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ****¹Бурдышева О.В., ¹Шолгин Е.С., ²Фазилова А.Д., ²Баяндин Д.В.**¹*Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, Пермь, e-mail: burdyshevaolga@gmail.com;*²*ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: baya260861@yandex.ru*

Ряд перспективных биотехнологий, имеющих многочисленные и разнообразные применения, основан на выращивании в искусственных условиях микроводоросли хлореллы. Одним из важнейших условий роста водоросли является создание освещения с определенными интенсивностью и спектральным составом. Применяемые в промышленных целях устройства для культивирования хлореллы, фотобиореакторы, ориентированы на получение больших объемов биомассы. Соответственно, они не пригодны для проведения лабораторных экспериментов, для которых характерно использование нескольких малообъемных образцов, отличающихся создаваемыми в них условиями развития культуры (например, составом питательной среды). Для сопоставления результатов, получаемых при изменении одного из факторов, необходима фиксация прочих факторов, в числе которых – освещенность образцов. Приспособление для исследовательских целей выпускаемых промышленностью светильников различного типа обычно имеет своим недостатком неоднородность освещенности рабочей области экспериментальной установки. Этот фактор снижает валидность результатов опытов, затрудняет их интерпретацию и воспроизводимость. В данной статье представлена разработка специализированного LED-источника излучения для выращивания микроводорослей хлореллы в лабораторных условиях, позволяющего увеличить воспроизводимость результатов эксперимента посредством создания равномерной освещенности опытных образцов. Приведены приближенный аналитический и численный расчеты освещенности рабочей области, показана высокая степень однородности создаваемой в экспериментальной установке освещенности. Реализованный светильник используется в экспериментах лаборатории экологии и иммунологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН.

Ключевые слова: искусственное освещение, микроводоросль хлорелла, специализированные источники излучения, равномерность освещенности

**DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED RADIATION SOURCE
FOR CULTIVATION OF CHLORELLA MICROALGAE
IN LABORATORY CONDITIONS****¹Burdysheva O.V., ¹Sholgin E.S., ²Fazilova A.D., ²Bayandin D.V.**¹*Perm Federal Research Center of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Perm,
e-mail: burdyshevaolga@gmail.com;*²*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: baya260861@yandex.ru*

A number of promising biotechnologies with numerous and diverse applications are based on the cultivation of chlorella microalgae in artificial conditions. One of the most important conditions for the growth of algae is the creation of illumination with a specific intensity and spectral composition. Photobioreactors, devices for cultivating chlorella for industrial purposes are focused on obtaining large amounts of biomass. Accordingly, they are not suitable for laboratory experiments, which are characterized by the use of several small-volume samples that differ in the conditions of culture development created in them (for example, the composition of the nutrient medium). To compare the results obtained by changing one of the factors, it is necessary to fix other factors, including the illumination of the samples. Adaptation of various types of industrially produced lamps for research purposes usually has the disadvantage of the non-uniformity of illumination of the working area of the experimental setup. This factor reduces the validity of the experimental results and complicates their interpretation and reproducibility. The paper presents the development of a specialized LED radiation source for growing chlorella microalgae in laboratory conditions which allow for increasing the reproducibility of the experimental results by creating a uniform illumination of the test samples. An approximate analytical and numerical calculation of the illumination of the working area is presented. A high degree of uniformity of the illumination created in the experimental setup is shown. The developed lamp is used in the experiments of the Laboratory of Ecology and Immunology of the Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Keywords: artificial lighting, chlorella microalgae, specialized radiation sources, illumination uniformity

Микроводоросль хлорелла нашла применение во многих областях деятельности человека: в сельском хозяйстве в качестве добавки к корму для скота, в пищевой промышленности, в медицине в виде биоло-

гически активных добавок, в фармацевтической промышленности и косметологии; помимо этого, хлорелла применяется в энергетической отрасли при производстве биотоплива [1–3].

Для выращивания микроводорослей в искусственных условиях применяются специальные установки, называемые культиваторами или фотобиореакторами. Известно большое количество устройств для культивирования хлореллы [4–6]. Поскольку одним из важнейших условий роста водоросли является создание освещения с определенными интенсивностью и спектральным составом, в состав конструкции фотобиореактора входят специализированные источники излучения. Большинство фотобиореакторов не подходят для проведения исследовательских работ, так как ориентированы на производство большого объема биомассы и не позволяют проводить эксперименты со значительными выборками малых объемов с термостатированием. Такие установки громоздки, дорогостоящи, а потому непригодны для лабораторных опытов.

Эксперименты по культивированию микроводорослей в малых объемах проводятся с пробирками, планшетами или колбами, их освещение реализуется, как правило, люминесцентными, дуговыми натриевыми лампами или светодиодными светильниками.

Как правило, источник света для выращивания располагают между рядами колб или над ними. Эти варианты просты в реализации, но не могут обеспечить равномерное освещение всех образцов, что сказывается на надежности и воспроизводимости результатов.

Цель представляемой работы – конструирование и реализация светильника для выращивания микроводорослей хлореллы в лабораторных условиях, обеспечивающего однородность освещенности рабочей области экспериментальной установки, что способствует повышению валидности результатов опытов.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к источнику излучения для культивирования микроводорослей в лабораторных условиях.

Для выращивания хлореллы необходимы шейкер и термостат. При культивировании биомассы важно, чтобы температура среды, в которой находятся микроводоросли, была оптимальной для используемого штамма. Данное оборудование накладывает ряд массогабаритных ограничений на разрабатываемый светильник.

В лабораторных опытах заказчика выращивание водоросли производится в двух типах емкостей: склянках или 24-луночных полистироловых планшетах. Размер светильника не должен превышать габариты 340 x 220 x 50 мм, а также светильник с пробами хлореллы не должен превышать допустимую массовую нагрузку на шейкер. При культивировании биомассы микроводорослей важным фактором является освещение – поверхностная облученность, распределение излучения внутри системы, спектральный состав и значения фотосинтетической активной радиации (ФАР). Для хлореллы предпочтителен спектр, приближенный к холодному белому свету. Однородность освещенности необходимо выдерживать в пределах $\pm 5\%$.

Для обеспечения равномерного освещения со значением фотосинтетически активного потока белого света 250 мкмоль/(с·м²), благоприятного для хлореллы, был выбран вариант создания LED светильника. С учетом расположения и компоновки экспериментальных образцов хлореллы, покрывающих площадь шейкера, оптимальным представляется располагать экспериментальные образцы на самом светильнике.

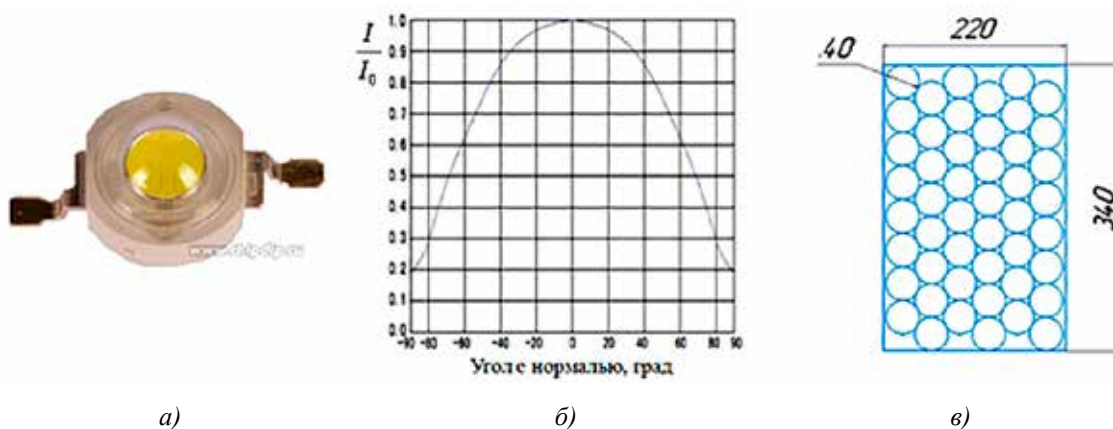


Рис. 1. Светодиоды: а) диоды в оправе; б) график угловой зависимости для относительной интенсивности излучения светодиода; в) расположение диодов на радиаторе



Рис. 2. Внешний вид светильника; светильник в термостате

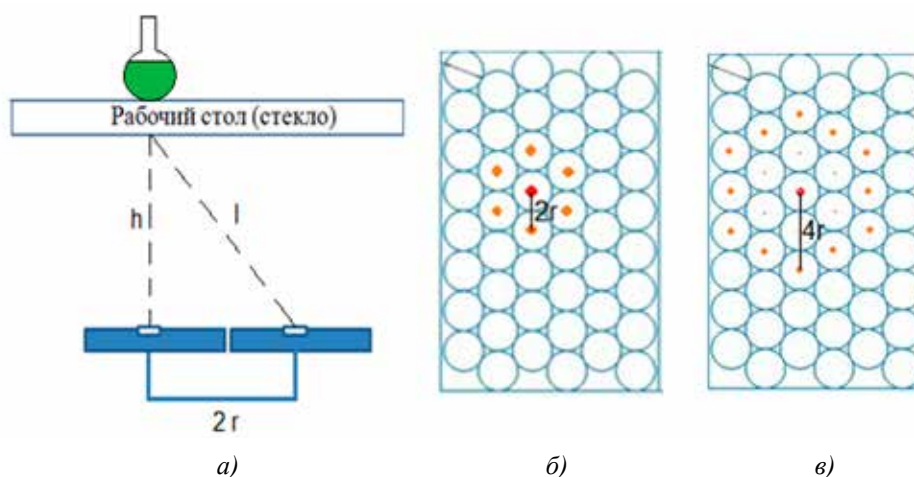


Рис. 3. Расположение диодов для точек первого типа: а) геометрия задачи; б) расположение диодов «соседей 1-го порядка»; в) расположение диодов «соседей 2-го порядка»

Расстояние от источников света до культуры хлореллы составляло около 45 мм. Диоды в светильнике расположены в шахматном порядке (рис. 1, в), размер D диода в оправе составляет 38 мм. Разработанный светильник представлен на рис. 2.

Установка содержит блок питания, регулятор мощности и каскад диодов. За счет блока питания и регулятора мощности возможна регулировка, обеспечивающая на выходе напряжение, которое соответствует заявленным параметрам диодов.

Основной задачей блока питания является снижение переменного напряжения 220 В до требуемой величины и его выпрямление, сглаживание и стабилизация. В нашем излучателе используется импульсный блок питания, иначе называемый инвертором.

Для моделирования равномерного излучения были взяты белые светодиоды (рис. 1, а) мощностью 3W в количестве 48 шт., близкие по световой температуре к необходимому 6000–7000 К и со световым потоком 200 лм. Представленный произво-

дителем светодиодов график распределения интенсивности излучения диода по углу рассеяния (рис. 1, б) показывает, что точки половинной мощности соответствуют углу 70° . Поэтому было принято, что угол рассеяния составляет 140° .

В основе работы инвертора лежит выпрямление первичного напряжения и дальнейшее его преобразование в последовательность импульсов высокой частоты. Выходное напряжение блока служит для формирования сигнала отрицательной обратной связи, что позволяет регулировать параметры импульсов. Управляя шириной импульсов, можно организовать стабилизацию и регулировку выходных параметров, напряжения или тока [7]. Поэтому устройство может играть роль как стабилизатора напряжения, так и стабилизатора тока.

За блоком питания следует регулятор мощности. В нашей работе в этом качестве был использован диммер, управляющий электрической мощностью ламп за счет изменения подводимого к ним напряжения.

Удобство в использовании такого регулятора мощности состоит в возможности настройки яркости, которая требуется заказчику. Тем самым появляется возможность использования светильника для выращивания не только хлореллы, но других микроводорослей и растений.

Результаты исследования и их обсуждение

Описанная реализация светильника призвана обеспечить равномерную освещенность рабочего стола с установленными на нем планшетами или колбами, необходимую для обеспечения достоверности сравнительного анализа результатов выращивания хлореллы в сосудах, расположенных по всей поверхности стола, и воспроизводимости экспериментов.

Для оценки степени однородности освещенности в аналитическом варианте расчета использовали метод последовательных приближений. Выделили три типа расположенных на стекле точек, характерных по своему пространственному положению относительно диодов.

Точки первого типа. Образец находится над центром некоторого диода (рис. 3).

Этот диод освещает точку наблюдения по нормали, а 6 ближайших его соседей («соседей 1-го порядка», рис. 3, б) – под углом, который определяется по формуле

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2 \cdot r}{h}\right), \quad (1)$$

где r – радиус диода в оправе, h – расстояние до стекла. Угол, под которым соседние диоды освещают данную точку, равен $40,18^\circ$, что соответствует коэффициенту 85% мощности излучения по нормали. Для 12 диодов – «соседей 2-го порядка» (рис. 3, в) – аналогичный расчет дает угол $59,37^\circ$, что соответствует 62% мощности излучения по нормали.

Угловая зависимость мощности излучения используемых диодов, представленная на рис.1, в, близка к закону, характерному для косинусных источников:

$$I = I_0 \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

где I_0 – сила света по нормали. Полагая приближенно излучаемую волну сферической, используем для расчета освещенности в выбранной точке формулу

$$E = \frac{I}{l^2} \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где l – расстояние от диодов до точки на стекле, а I – сила света, излучаемая и падающая на стекло под углом α к нормали.

Зависимость (3) удобна при автоматизированном расчете, а в аналитическом расчете использовалась формула

$$I = I_0 \cdot k, \quad (3a)$$

где значения коэффициента угловой зависимости излучаемой мощности k берутся из графика на рис. 1, б. Величина I_0 , соответствующая в установке световому потоку 200 лм, при оценке относительных изменений освещенности сокращается и потому не вычислялась.

Подстановка в (4) формулы (3a), а затем и численных значений параметров установки дает

$$E = I_0 \frac{k}{l^2} \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Для автоматизированного расчета используется приближенная формула

$$E = \frac{I_0}{l^2} \cdot \cos^2 \alpha. \quad (5a)$$

Освещенность, которую создают в выбранной точке расположенный строго под ней диод E_0 и его соседи первого и второго порядка E_1 и E_2 , в соответствии с формулой (5) такова:

$$E_0 = I_0 \cdot \frac{k_0}{l_0^2} \cdot \cos \alpha_0 = I_0 \cdot 0,00049, \quad (6)$$

$$E_1 = 6 \cdot I_0 \cdot \frac{k_1}{l_1^2} \cdot \cos \alpha_1 = I_0 \cdot 0,0011, \quad (7)$$

$$E_2 = 12 \cdot I_0 \cdot \frac{k_2}{l_2^2} \cdot \cos \alpha_2 = I_0 \cdot 0,00048 \quad (8)$$

(освещенность E связана с энергией, проходящейся на 1 мм^2 , а сила света I – с энергией, распространяющейся в телесном угле 1 стерадиан).

Видно, что освещенность, создаваемая «центральным» диодом и его соседями 1-го порядка, примерно вчетверо больше вклада в освещенность от диодов 2-го порядка.

Аналогичный расчет для 18 соседей третьего порядка дает поправку освещенности около 9% . Таким образом, итерационный процесс расчета оказывается достаточно медленно сходящимся. В связи с этим помимо аналитического расчета был выполнен автоматизированный, с суммированием вклада в освещенность всех диодов установки. Тем не менее выводы по приближенному аналитическому и автоматизированному вариантам расчета оказались, как будет более подробно указано ниже, идентичными.

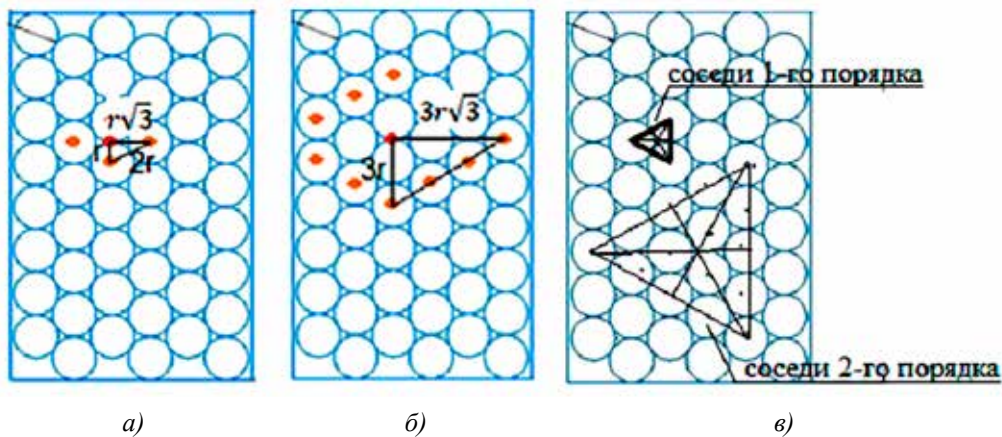


Рис. 4. Диоды-соседи для точек: а) второго типа, 1-го порядка; б) второго типа, 2-го порядка; в) третьего типа, 1-го и 2-го порядков (со смещением точки наблюдения)

Освещенность в точках первого типа, расположенных непосредственно над диодами, сравнивалась с освещенностями двух других характерных точек рабочей области, после чего оценивалась относительная разница их освещенностей.

Точки второго типа расположены в серединной точке отрезка, соединяющего центры соседних диодов (рис. 4, а).

Два диода, находящиеся по горизонтали на расстоянии r от точки наблюдения (рис. 4, а), освещают ее под углом, равным $22,89^\circ$, что соответствует 96% мощности излучения по нормали, а два диода, находящиеся по горизонтали на расстоянии $r\sqrt{3}$, излучают под углом, равным $36,18^\circ$, что соответствует 92% мощности излучения по нормали. Расчет освещенности аналогичен описанному для точек первого типа.

Расчет по формулам, аналогичным (6)–(8), дает для точек второго типа $12,19 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$ в 1-м порядке, $6,82 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$ во 2-м, $3,41 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$ в 3-м. Суммарная освещенность составляет $22,42 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$, то есть соседи третьего порядка вносят поправку около 15%.

Точки третьего типа расположены в точке пересечения биссектрис равностороннего треугольника, образованного центрами трех ближайших друг к другу диодов (рис. 4, в).

Эти три диода, находящиеся по горизонтали на расстоянии $2r/\sqrt{3}$ от точки наблюдения (рис. 4, в), освещают ее под углом, равным $25,99^\circ$, что соответствует 95% мощности излучения по нормали. Для соседей 2-го порядка точка третьего типа удалена по горизонтали на расстояние $8r/\sqrt{3}$, излучают под углом, равным

$62,85^\circ$, что соответствует 61% мощности излучения по нормали.

Расчет по формулам, аналогичным (6)–(8), дает для точек третьего типа $10 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$ в 1-м порядке, $3,41 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$ во 2-м, $1,64 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$ в 3-м. Суммарная освещенность составляет $15,05 \cdot 10^{-4} \cdot I_0$, то есть соседи третьего порядка вносят поправку около 11%.

Относительное расхождение между точками трех рассмотренных типов составляет на третьей итерации (то есть при учете соседних диодов 3-го порядка) не более 6%, в связи с чем можно говорить о достаточной однородности освещенности рабочей области.

Однако медленная сходимость итерационного процесса делает желательным учет вклада в освещенность абсолютно всех диодов разработанного светильника. Поэтому по методике, описанной выше, был выполнен расчет средствами электронных таблиц. Каждому диоду соответствует строка таблицы, в ячейки которой введены координаты центра диода, расстояние до точки наблюдения, угол, под которым диод излучает на эту точку (он же угол падения лучей), вклад в суммарную освещенность. Отдельные фрагменты таблицы выделены точкам наблюдения каждого из трех типов. Координаты интересующей точки могут быть заданы, после чего происходит автоматизированный пересчет светового поля – вклада отдельных диодов и суммарной освещенности. Расчет показал, что в центральной части рабочей области относительное расхождение $\delta = (E_{\max} - E_{\min}) / \langle E \rangle$ суммарной освещенности для точек трех типов не превышало 0,3%. Освещенность точек на периферии рабочей зоны, естественно, ниже, чем в ее центре.

Заключение

Таким образом, разработанный источник излучения обеспечивает высокую степень однородности освещенности в рабочей зоне установки, соответствует предъявляемым требованиям и может использоваться при проведении биологических экспериментов.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058-3. Реализованный светильник используется в экспериментах лаборатории экологии и иммунологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН.

Список литературы

1. Туми А., Смятская Ю.А., Политаева Н.А. Использование биомассы микроводорослей *Chlorella sorokiniana* в качестве энтеросорбента // Бутлеровские сообщения. 2020. Т. 61. № 1. С. 126–132.

2. Заболотских В.В., Васильев А.В., Смахина Л.А., Семихвостова О.В. Разработка технологических подходов к получению альтернативного биотоплива из водорослей // Академический вестник ЕЛРПТ. 2019. Т. 4. № 1 (7). С. 12–38.

3. Политаева Н.А., Смятская Ю.А., Кузнецова Т.А. Культивирование и использование микроводорослей *Chlorella* и высших водных растений ряска *Lemna*. СПб.: Санкт-Петербургская издательско-книготорговая фирма «Наука», 2017. 87 с.

4. Яговкин А.Ю., Трофимчук О.А., Туранов С.Б., Пестикарь П.В., Романенко С.А. Фотобиореактор для культивирования микроводорослей // Патент РФ № 2759450 С1. Патентообладатель ФГАОУ ВО «Исследовательский Томский политехнический университет». 2021. Бюл. № 32.

5. Комиссарова А.В., Пантвич В.Ж., Ермакова Л.С., Кудрявцева Ю.С. Фотобиореакторы для культивирования микроводорослей с целью получения из них биотоплива // Актуальные исследования. 2020. № 22 (25). С. 9–11.

6. Романенко С.А., Геворгиз Р.Г. Конструктивные особенности портативных фотобиореакторов для микроводорослей // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2019. Т. 4. № 2. С. 289–294.

7. Импульсный блок питания: принцип работы, схемы // Библиотека радиолюбителя. [Электронный ресурс]. URL: <https://radiofiles.ru/raznoe/impulsnyy-blok-pitaniya-svoimirukami-printsip-raboty-shemy/> (дата обращения: 27.10.2022).

УДК 62:614.84

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ НА ЗАВОДАХ

Вахитова Л.Ф., Жданов Р.Р., Михайлова В.А., Аксенов С.Г.

*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа,
e-mail: vakhitovaliana6@yandex.ru*

Часто производственный процесс связан с наличием большого количества горючих материалов и источников воспламенения. Требования пожарной безопасности для промышленных зданий направлены на снижение вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций и обеспечение надежной противопожарной защиты для ограничения распространения огня, так как промышленные здания характеризуются повышенным риском возникновения пожара. В данной статье нами были рассмотрены особенности обеспечения пожаробезопасности на заводах. Мы подробно рассмотрели вопрос организации пожаробезопасности на заводе. Были проанализированы правила промышленной пожарной безопасности на заводах, системы противопожарной защиты на заводах, особенности противопожарной защиты. Рассмотрены особенности планирования эвакуации в промышленных зданиях. Основу исследований составил анализ правил промышленной пожарной безопасности на заводах. Требования пожарной безопасности для различных типов промышленных зданий изложены в документах СНиП и ППБ. Меры пожарной безопасности включают проектирование и разработку эффективных систем сигнализации. Проведенный анализ работ свидетельствует, что пожарная безопасность промышленных зданий и сооружений зависит от надежности систем пожарной сигнализации и пожаротушения. Особое внимание уделяется строительному и архитектурному проектированию, проектированию пожарных убежищ, пожарных отсеков между промышленными зданиями, а также стен и перегородок, предотвращению распространения огня.

Ключевые слова: пожарная безопасность, заводы, асфальтобетонный завод, пожар, требования, меры, законодательство, промышленное здание, оборудование, огнестойкость

FEATURES OF ENSURING FIRE SAFETY IN FACTORIES

Vakhitova L.F., Zhdanov R.R., Mikhailova V.A., Aksenov S.G.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: vakhitovaliana6@yandex.ru

Often the production process is associated with a large number of combustible materials and ignition sources. Fire safety requirements for industrial buildings are aimed at reducing the likelihood of emergencies and providing reliable fire protection to limit the spread of fire, since industrial buildings are characterized by an increased risk of fire. In this article, we have considered the features of ensuring fire safety in factories. We have considered in detail the issue of organization of fire safety at the plant. The rules of industrial fire safety in factories, fire protection systems in factories, features of fire protection in factories were analyzed. The features of evacuation planning in industrial buildings are considered. The basis of the research was the analysis of the rules of industrial fire safety in factories. Fire safety requirements for various types of industrial buildings are set out in the SNiP and PPB documents. Fire safety measures include the design and development of effective alarm systems. The analysis of the work shows the fire safety of industrial buildings and structures, which depends on the reliability of fire alarm and fire extinguishing systems. Special attention is paid to construction and architectural design, extends to the design of fire shelters, fire compartments between industrial buildings, as well as walls and partitions to prevent the spread of fire.

Keywords: fire safety, factories, asphalt concrete plant, fire, requirements, measures, legislation, industrial building, equipment, fire resistance

Промышленные здания характеризуются повышенным риском возникновения пожара. Производственный процесс часто связан с наличием большого количества горючих материалов и источников воспламенения. Ткани, электрооборудование и твердые горючие материалы в помещениях могут быть источниками пожара.

Требования пожарной безопасности для промышленных зданий направлены на снижение вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций и обеспечение надежной противопожарной защиты для ограничения распространения огня.

Руководство завода несет ответственность за меры пожарной безопасности на предприятии. Ответственность за пожар-

ную безопасность в организациях и подразделениях завода возлагается на представителей и руководителей подразделений. Их права, обязанности и ответственность в отношении пожарной безопасности определены в соответствующих должностных инструкциях. Сотрудник по пожарной безопасности отвечает за обеспечение соблюдения местных руководящих принципов и законодательства по охране труда и технике безопасности, а также требований системы пожарной безопасности компании.

Действующие правила устанавливают строгие технические требования к оборудованию (включая станки, электроинструменты, ручной инструмент, лифты, конвейерные ленты и другое оборудование,

опасное для здоровья человека), требования пожарной безопасности к оборудованию и требования пожарной безопасности при эксплуатации [1].

Должны быть даны инструкции по использованию автоматических систем пожаротушения и пожарной сигнализации, а также указано, кто несет ответственность за их надлежащую эксплуатацию. Количество источников огня в основной пожарной зоне здания должно определяться в соответствии с НПБ 105-95 «Определение классификации взрыво- и пожароопасности зданий, сооружений и наружного оборудования», которая основана на классификации здания. Согласно этому документу, здания классифицируются по уровням взрыво- и пожароопасности.

Следует помнить, что все меры по созданию и поддержанию пожарной безопасности начинаются с подготовки ежегодного плана пожарной безопасности. Запланированные мероприятия являются основой для планирования бюджета на следующий год. Конечно, эффективная пожарная безопасность не может быть достигнута без финансовых вложений.

Цель исследования – изучить особенности обеспечения пожаробезопасности на заводах.

Задачи исследования

1. Рассмотреть правила промышленной пожарной безопасности на заводах.
2. Изучить системы противопожарной защиты на заводах.
3. Изучить особенности противопожарной защиты на заводах.

Причины возникновения пожаров и правила промышленной пожарной безопасности на заводах

Согласно различным статистическим исследованиям, наиболее распространенными причинами пожаров являются:

- 1) нарушение технологического процесса;
- 2) самопроизвольное возгорание из-за несоблюдения правил пожарной безопасности;
- 3) неисправные электропроводка и оборудование;
- 4) недостаточная подготовка или нарушения при ремонте оборудования.

Для предотвращения ущерба от пожара и разрушений все промышленные здания должны быть классифицированы по степени пожарной опасности. Этот показатель используется для определения необходимых систем пожарной и тревожной сигнализации [2].

Пожарная безопасность на заводах включает в себя следующие меры:

- 1) определение степени воспламенения и пожарного риска;
- 2) проектирование и разработка противопожарного оборудования, такого как несущие конструкции, стены и перегородки, а также перекрытия;
- 3) планирование маршрутов эвакуации людей.

Пожарная безопасность промышленных зданий и сооружений зависит от надежности систем пожарной сигнализации и пожаротушения. Системы сигнализации проектируются в соответствии с категориями пожарного риска.

Требования пожарной безопасности для различных типов промышленных зданий изложены в документах СНиП и ППБ. Они предусматривают меры по предотвращению пожаров и ущерба, в том числе от открытого огня.

Особое внимание должно быть уделено строительному и архитектурному проектированию. Оно распространяется на проектирование пожарных убежищ, пожарных отсеков между промышленными зданиями, а также стен и перегородок для предотвращения распространения огня.

Также важное значение имеют меры противопожарной защиты зданий. Все несущие конструкции, деревянные детали и узлы, панели пола и места прохода кабелей должны быть обработаны негорючими материалами. Требования пожарной безопасности при проектировании промышленных зданий предусматривают уменьшение всех опасных зон и принятие соответствующих мер защиты.

Рассмотрим также методы противопожарной защиты. Все методы противопожарной защиты можно разделить на первичные и вторичные. Частое возникновение пожаров – одна из причин, по которой огнетушители и оборудование для пожаротушения необходимы в промышленных помещениях.

Работники должны регулярно проходить инструктаж о том, как действовать в случае пожара. Результаты оценки безопасности здания используются при выборе противопожарного оборудования.

Системы противопожарной защиты на заводах

На заводе также обязательно должна быть система пожарной сигнализации. Необходимость установки автоматической пожарной сигнализации определяется классом пожарной безопасности здания.

Сигнализации могут потребоваться в раздевалках, коридорах, складах, комнатах отдыха и рабочих зонах.

На заводе также важно обеспечить соблюдение требований ППБ и СНиП по противопожарной защите при проведении отделочных и строительных работ [3].

Пассивная огнезащита означает использование строительных материалов и изоляции, которые снижают огнестойкость здания. Пожарные зоны и пожарные отсеки всегда являются частью проекта [4].

Тщательное обследование здания позволит выявить наибольшие угрозы и обеспечить наилучшую защиту. В многоэтажных зданиях, где невозможно полностью изолировать помещения негорючей базальтовой изоляцией, в противопожарных целях может быть использован полистирол [5].

Стандарты противопожарной защиты зависят от классификации огнестойкости здания. Ресертификация проводится каждые несколько лет. Степень огнестойкости конструкций в промышленных зданиях может варьироваться в зависимости от того, где хранятся горючие или взрывоопасные материалы.

Противопожарная защита промышленных зданий основана на двух фундаментальных принципах: предотвращение огня и контроль распространения огня на соседние здания и объекты. Для этого используются противопожарные отсеки. Противопожарная стена проходит вертикально от фундамента промышленного высотного здания через все здание.

Меры пожарной безопасности включают проектирование и разработку эффективных систем сигнализации. Современные системы сигнализации могут не только обнаружить огонь, но и определить его интенсивность и направление. Раннее оповещение обеспечивает безопасную эвакуацию и своевременное тушение пожаров [6].

Для обеспечения максимальной защиты автоматические системы пожаротушения устанавливаются в одной цепи с системой сигнализации. Основы пожаротушения связаны с характером производства. Если в работе применяются в основном горюче-смазочные материалы, необходимо установить специальную систему.

Порошковые огнетушители используются в офисах и помещениях с большим количеством электрооборудования. Широко применяются спринклерные системы с разбрызгивателями и спринклерными головками.

Высота внутренней спринклерной системы рассчитывается во время установки оборудования. Общий объем жидкости в си-

стеме должен быть определен с учетом специальных характеристик.

Монтаж систем наружного пожаротушения требуется в промышленных зданиях, где первичное пожаротушение осуществляется автоматическими установками пожаротушения [7].

Крайне необходимы установка в здании противопожарного оборудования, а также обработка конструкции элементами огнезащиты с учетом категории пожарной опасности здания. Процедура присвоения категорий описана в Федеральном законе № 123.

Противопожарное расстояние между производственными зданиями составляет 6–18 м. Это расстояние рассчитывается в соответствии с таблицей Федерального закона № 123 «Об огнестойкости зданий».

Основными целями противопожарной защиты в области промышленных зданий являются предотвращение распространения огня от одного здания к другому и предотвращение серьезных повреждений здания. Это важно, поскольку на некоторых заводах хранится большое количество химикатов и взрывчатых веществ.

Решения по планированию пространства включают:

- 1) выполнение нормативных требований к противопожарной защите;
- 2) обработку несущих и критических конструкций, что может снизить категорию пожарного риска здания;
- 3) выполнение требований пожарной безопасности при проектировании заводов.

Определение минимальных расстояний между производственными зданиями может помочь в борьбе с пожарами. С этой же целью могут быть созданы специальные барьеры и ниши, сдерживающие огонь на определенный период времени.

Рассмотрим особенности планирования эвакуации в промышленных зданиях. Возможность быстрой эвакуации в случае пожара является одним из приоритетов при проектировании мер противопожарной защиты промышленных зданий. На стенах каждого помещения должны быть вывешены таблички с указанием путей эвакуации [8].

Должны быть проходы между промышленными зданиями – для свободного проезда транспортных средств и спасательных команд.

После реализации мер противопожарной защиты необходимо подготовить отчет, показывающий уровень пожарной опасности здания [9].

В зависимости от присвоенной категории должны быть установлены дополнительные системы сигнализации и основные средства пожаротушения.

При изменении требований технического процесса, условий работы или нормативных документов, на которых основаны инструкции, описание мер противопожарной защиты установки должно быть пересмотрено на основе анализа пожарной обстановки в установке (здании), но не реже одного раза в пять лет.

Особенности противопожарной защиты на примере асфальтобетонного завода

Например, асфальтобетонные заводы должны быть оборудованы как минимум тремя огнетушителями: один у форсунок, один у лестницы и один у резервуара.

Область возле форсунок должна быть закрыта защитной стеной высотой 1 м. Такой завод должен быть оснащен противопожарным оборудованием, включая резервуар для воды, запасной резервуар для воды, резервуар для хранения воды, водопроводную трубу соответствующей длины, насос для подачи воды, переносную мотопомпу (на случай нехватки воды) и огнетушитель.

Необходимо обеспечить альтернативный доступ к объекту и свободный доступ к резервуарам с водой. Категорически запрещается превышать допустимое расстояние между производственным зданием и внешней стеной.

Установлены особые требования пожарной безопасности для асфальтобетонных заводов. Такие заводы должны разработать и внедрить систему противопожарной защиты при получении, транспортировке, производстве, обработке и хранении легковоспламеняющихся материалов и веществ [10].

Подъездные дороги и проезды на территории завода должны обеспечивать доступность ко всем зданиям, сооружениям, открытому технологическому оборудованию, а также расположение пожарных гидрантов и резервуаров с водой для пожарных и спасательных машин.

Технологическое оборудование должно быть расположено так, чтобы обеспечить беспрепятственный доступ к средствам пожаротушения.

Асфальтосмесительные установки, склады асфальтовой смеси, склады легковоспламеняющихся веществ и материалов и другие помещения, расположенные во взрывоопасных и легковоспламеняющихся средах, должны быть оборудованы противопожарными клапанами в соответствии с установленными правилами [11].

Огнетушители должны быть установлены в рабочих зонах асфальтосмесительной установки (зона работы с воздуходувкой и рабочая зона водителя).

Таким образом, можно отметить, что в России действует достаточно строгое законодательство в области пожарной безопасности.

Процедуры обеспечения пожарной безопасности в помещениях, зарегистрированных на территории нашей страны, строго регламентированы законодательством.

Непринятие необходимых мер может привести к катастрофическим последствиям. Другая проблема заключается в том, что нормативно-правовая база сложна, и работодатели не всегда понимают, какие меры требуются по закону.

Для решения этих вопросов были разработаны нормативные акты, которые в настоящее время применяются в этой области. Их содержание следует использовать в качестве руководства как при создании системы пожарной безопасности, так и в случае разногласий с представителями эксплуатирующей организации.

Основным документом, определяющим требования к системам пожарной безопасности, является Федеральный закон № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» с изменениями от 26 июля 2019 года, который регулирует правоотношения в этой сфере, возникающие между юридическими лицами, гражданами, органами государственной и региональной власти.

Другие законы, действующие в нашей стране, соответствуют требованиям настоящего Федерального закона.

Список литературы

1. Абдулхакова Г.Г., Яруллин Ф.Ф., Гаязиев И.Н., Медведев В.М., Макарова О.И. Обеспечение пожарной безопасности на предприятиях автосервиса // *Агроинженерная наука XXI века: научные труды региональной научно-практической конференции* (Казань, 18 января 2018 г.). Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2018. С. 376-379.
2. Аксенов С.Г., Божко Д.А. Расчет пожарных рисков: новый порядок с 2021 года // *Студенческий форум*. 2022. №10-1 (189). С. 38-40.
3. Барабанов А.Г. Совершенствование деятельности по обеспечению пожарной безопасности промышленных предприятий // *Наука, образование и культура*. 2022. № 1 (61). С. 68-70.
4. Гвоздев Е.В. Информационно-управляющая система обеспечения промышленной и пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса России // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2021. №. 3 (40). С. 13-23.
5. Дьяченко Л.Е., Губанова А.Р. Особенности обеспечения пожарной безопасности людей в административных зданиях // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи* (Югра, 5-7 апреля 2018 г.). Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018. С. 194-196.
6. Крейтор В.П., Гарбузова Е.А. Анализ и пути повышения пожарной безопасности торгово-развлекательных цен-

тров России // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: Материалы научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 25 марта 2021 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2021. С. 80-84.

7. Лазаренков А.М. Пожарная безопасность: учебное пособие. Минск: БНТУ, 2019. 126 с.

8. Мошненко А.С., Кривошей Е.С., Смирнова И.Н. Современные требования к взрыво- и пожаробезопасности

промышленных предприятий // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2021. № 7. С. 58-63.

9. Мошненко А.С., Кривошей Е.С., Смирнова И.Н. Требования к взрыво- и пожаробезопасности промышленных предприятий // Водочистка. 2021. № 2. С. 58-63.

10. Смирнов В.В., Аксенов С.Г. Особенности обеспечения пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих объектах // Студенческий форум. 2021. № 32-2 (168). С. 21-22.

11. Степанова М.Н., Шульженко В.Н., Ветрова Ю.В. Анализ пожарной безопасности на объектах промышленности в России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2. С. 47-52.

УДК 674.038.182:699.87

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ВОЗДУХЕ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Гаврилов Т.А.

*ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: gtimmo@mail.ru*

Статья посвящена проблеме биоразрушения древесины памятников деревянной архитектуры. Одной из основных причин биоразрушения древесины являются дереворазрушающие грибы, которые в процессе своей жизнедеятельности разлагают древесину на воду и углекислый газ. В статье выдвигается гипотеза о возможности идентификации процесса разложения древесины по величине содержания углекислого газа у поверхности древесины. Целью исследования является изучение закономерностей процесса разложения древесины памятников архитектуры. В ходе исследования проводились измерения содержания углекислого газа у поверхности древесины трех групп образцов – не подверженных разложению, находящихся в начальной и развитой стадиях гниения. Для измерения содержания углекислого газа использовались цифровые датчики измерения содержания углекислого газа в воздухе. По результатам исследования выявлено, что у не подверженных разложению образцов содержание углекислого газа у поверхности древесины является постоянной величиной, варьируемой в небольшом интервале и примерно равной содержанию углекислого газа в наружном воздухе (вне помещений). У образцов, находящихся в начальной и развитой стадиях разложения, содержание углекислого газа у поверхности древесины непрерывно увеличивается, причем по величине значительно превышает содержание углекислого газа в наружном воздухе (вне помещений). У образцов, находящихся в начальной стадии разложения, содержание углекислого газа увеличивается плавно с постоянной скоростью, равной 5,34 ppm/сутки. У образцов, находящихся в развитой стадии разложения, содержание углекислого газа увеличивается резко. Причем быстрота изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины замедляется и плавность замедления составляет 1,18 ppm/сутки². В ходе исследования получены закономерности изменения содержания углекислого газа с течением времени. Полученные результаты позволяют разработать методы выявления процесса разложения древесины на начальных стадиях и купировать его существующими мероприятиями по защите древесины.

Ключевые слова: биоразрушение древесины, дереворазрушающие грибы, древесина, памятники архитектуры, углеводный гидролиз, углекислый газ

CHANGES IN THE CONTENT OF CARBON DIOXIDE IN THE AIR DURING THE DECOMPOSITION OF WOOD OF ARCHITECTURAL MONUMENTS

Gavrilov T.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: gtimmo@mail.ru

The article is devoted to the problem of wood biodegradation of monuments of wooden architecture. One of the main reasons for the biodegradation of wood is wood-destroying fungi, which decompose wood into water and carbon dioxide in the course of their life. The article puts forward a hypothesis about the possibility of identifying the process of wood decomposition by the value of carbon dioxide content near the wood surface. The purpose of the study is to study the regularities of the process of decomposition of wood of architectural monuments. In the course of the study, measurements of the carbon dioxide content near the wood surface of three groups of samples were carried out – non-decomposable, in the initial and advanced stages of decay. To measure the content of carbon dioxide, digital sensors were used to measure the content of carbon dioxide in the air. According to the results of the study, it was revealed that in samples that are not subject to decomposition, the content of carbon dioxide at the surface of the wood is a constant value, varied in a small range, and approximately equal to the content of carbon dioxide in the outside air (outdoors). For samples that are in the initial and advanced stages of decomposition, the content of carbon dioxide at the surface of the wood continuously increases, and the value significantly exceeds the content of carbon dioxide in the outside air (outdoors). For samples in the initial stage of decomposition, the carbon dioxide content increases smoothly at a constant rate of 5.34 ppm/day. For samples that are in the advanced stage of decomposition, the content of carbon dioxide increases sharply. Moreover, the rate of change in the carbon dioxide content at the surface of the wood slows down and the smoothness of the slowdown is 1.18 ppm/day². In the course of the study, regularities were obtained for the change in the content of carbon dioxide over time. The results obtained make it possible to develop methods for detecting the process of wood decomposition at the initial stages and stop it with existing measures to protect wood.

Keywords: wood biodegradation, wood-destroying fungi, wood, architectural monuments, carbohydrate hydrolysis, carbon dioxide

Древесина является ценным, возобновляемым и наиболее доступным строительным материалом. Ее стоимость сравнительно ниже, чем у других строительных материалов. В связи с этим древесина широко применяется в строительстве зданий и сооружений.

В ходе эксплуатации зданий и сооружений древесина подвергается биоразрушению, что значительно сокращает срок эксплуатации зданий и сооружений и вызывает большие материальные потери, а также может являться причиной обрушения как относительно новых, так и исторических кон-

струкций [1]. Так, например, известно, что из общего количества заготавливаемой в России деловой древесины 20% расходуется только для того, чтобы восполнить ее потери от биоразрушения [2].

Не менее важной, чем материальные потери, является проблема частичной или полной утраты объектов культурного наследия в процессе биоразрушения древесины памятников архитектуры [3]. Памятники деревянной архитектуры хранят в себе историю, традиции и быт людей предыдущих поколений, являются отражением и документальным подтверждением прошлого, информацию о котором необходимо сохранять и передавать следующим поколениям. Сохранение объектов культурного наследия является важной задачей, которая позволяет сохранить связь прошлого, настоящего и будущего.

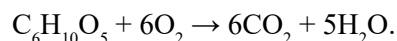
Для защиты древесины зданий и сооружений от биоразрушения применяются конструктивные, антисептические и механические мероприятия [4–6]. К конструктивным относятся мероприятия, направленные на предотвращение благоприятных для развития процесса биоразрушения древесины условий. Например, все деревянные конструкции зданий и сооружений должны быть спроектированы так, чтобы они не могли получать влагу от фундаментов; вентиляция зданий и сооружений должна обеспечить отвод влаги от полов, потолков и др. К антисептическим относятся мероприятия, направленные на химическое уничтожение дереворазрушающих грибов на поверхности и в толще древесины зданий и сооружений путем их пропитки и промазки антисептиками. К механическим относятся мероприятия, направленные на удаление участков древесины, пораженных дереворазрушающими грибами, и их замену.

Комплексное использование описанных мероприятий позволяет обеспечить достаточно надежную защиту древесины зданий и сооружений от биоразрушения. Но весь этот комплекс мероприятий применим только для зданий и сооружений, не относящихся к памятникам деревянной архитектуры. Так, конструктивные мероприятия невозможны ввиду того, что памятники деревянной архитектуры уже имеют определенную конструкцию и внесение в них изменений приведет к утрате статуса объектов культурного наследия. Антисептические мероприятия негативно влияют на физико-механические свойства конструкций памятников деревянной архитектуры, а также имеют ряд других недостатков. Так, например, в работе [7] в ходе исследования состоя-

ния древесины Преображенской церкви (1714 г., остров Кижы, Республика Карелия) было выявлено, что глубокая химическая консервация привела к нарушению целостности древесины, не обеспечила надежную защиту от дереворазрушающих грибов и создала неблагоприятную экологическую обстановку. Механические мероприятия сильно ограничены ввиду того, что при замене более 42% оригинальных конструкций и элементов памятников деревянной архитектуры они утрачивают статус объекта культурного наследия (Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 № 73-ФЗ).

Ввиду неприменимости или неэффективности существующих мероприятий по защите конструкций памятников деревянной архитектуры от биоразрушения особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение процесса биоразрушения древесины и разработку путей ее защиты.

Ведущую роль в биоразрушении древесины играют дереворазрушающие грибы [7–9]. Биоразрушение древесины под действием дереворазрушающих грибов происходит постепенно и представляет собой процесс разложения составных частей древесины, приводящий к ее разрушению. В процессе развития дереворазрушающих грибов в древесине происходит углеводный гидролиз, описываемый следующей формулой [10]:



В результате древесина под действием дереворазрушающих грибов разлагается на углекислый газ и воду. Следовательно, процесс разложения древесины сопровождается выделением углекислого газа, причем количество выделяемого углекислого газа зависит от интенсивности процесса разложения и объема пораженной древесины. В связи с чем можно предположить, что изменение содержания углекислого газа у поверхности древесины является маркером процесса разложения древесины. Это и является гипотезой данного исследования. Изучение закономерностей изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины позволит выявлять процесс разложения на начальных стадиях и купировать его существующими мероприятиями по защите древесины.

Цель исследования – изучение закономерностей выделения углекислого газа при разложении древесины памятников архитектуры.

Материалы и методы исследования

Для непрерывного измерения и фиксации содержания углекислого газа у поверхности древесины были разработаны и изготовлены специальные устройства, состоящие из: 1 – цифровых датчиков измерения содержания углекислого газа в воздухе MH-Z19B (диапазон измерения от 0 до 5000 ppm, точность измерений ± 50 ppm), 2 – контроллеров с интегрированным модулем Wi-Fi (ESP32 DevKit V1 30pin), 3 – блоков питания (или аккумуляторных батарей) и ряда вспомогательных элементов (рис. 1). Принцип работы устройств следующий: датчики 1 непрерывно измеряют данные о содержании углекислого газа у поверхности древесины и передают их на контроллеры 2, которые сохраняют эти данные и по локальной сети

Wi-Fi через определенный интервал времени передают их на компьютер.

Принято различать три стадии разложения древесины: начальную, развитую и конечную [3, 11]. В соответствии с этим для изучения процесса выделения углекислого газа при разложении древесины памятников архитектуры были подготовлены образцы элементов конструкций зданий и сооружений из хвойных пород деревьев с разными стадиями разложения древесины (рис. 2): 1) разложение древесины отсутствует (образцы № 1 и 5), 2) разложение древесины находится в начальной стадии (образцы № 2 и 6); 3) разложение древесины находится в развитой стадии (образцы № 3 и 4). Образцы в конечной стадии разложения древесины не рассматривались, так как на данной стадии структура древесины практически полностью разрушена.



Рис. 1. Устройство для непрерывного измерения содержания углекислого газа у поверхности древесины



Рис. 2. Образцы элементов конструкций зданий и сооружений с разными стадиями разложения древесины

В ходе исследования на каждый образец элементов конструкций зданий и сооружений были установлены изготовленные устройства, которые в течение 60 дней непрерывно измеряли и сохраняли значения содержания углекислого газа в воздухе у поверхности древесины и по локальной сети Wi-Fi через каждые 15 минут передавали измеренные данные на компьютер. Для дальнейшей сравнительной оценки измеряемых данных изготовленные устройства также были установлены на открытом воздухе и измеряли содержание углекислого газа в наружном воздухе. Температура и влажность воздуха в помещениях в ходе исследования также непрерывно измерялась посредством цифровых датчиков температуры и влажности GY-SHT31-D (диапазон измерения температуры от -40 до 120 °С, точность измерения температуры 0,015 °С, диапазон измерения влажности от 0 до 100% относительной влажности, точность измерений влажности 0,01% относительной влажности). Температура воздуха в течение исследования изменялась в интервале от 21,31 до 28,23 °С. Влажность воздуха изменялась в интервале от 37,61 до 53,15%.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования были получены данные о содержании углекислого газа у поверхности древесины для трех групп образцов с разными стадиями разложения, а также данные о содержании углекислого газа в наружном воздухе (вне

помещений). Полученные данные были обработаны общепринятыми методами математической статистики. Результаты представлены на графике (рис. 3).

Анализ результатов, представленных на графиках, показывает, что содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов № 1 и 5 (образцы, у которых разложение древесины отсутствует) на протяжении всего исследования остается постоянным от 409 до 439 ppm, соизмеримым с содержанием углекислого газа в наружном воздухе (вне помещений) – от 401 до 416 ppm. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов № 2 и 6 (образцы, у которых разложение древесины находится в начальной стадии) на протяжении всего исследования плавно растет от 514 до 777 ppm для образца № 2 и от 592 до 985 ppm для образца № 6. К окончанию исследования рост составил около 51% для образца № 2 и 66% для образца № 6. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов № 3 и 4 (образцы, у которых разложение древесины находится в развитой стадии) на протяжении всего исследования значительно растет от 1897 до 3763 ppm для образца № 3 и от 1927 до 3709 ppm для образца № 4. К окончанию исследования рост составил около 98% для образца № 3 и 92% для образца № 4. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов № 2, 3, 4 и 6 на протяжении всего исследования значительно превышает значения содержания углекислого газа в наружном воздухе (вне помещений).

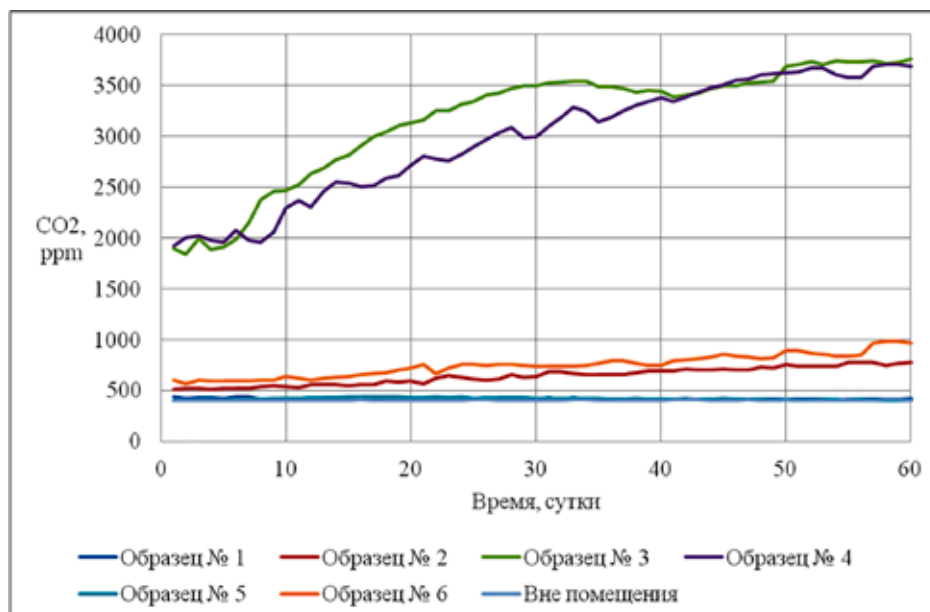


Рис. 3. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов

Представленные на графике (рис. 3) экспериментальные кривые можно аппроксимировать зависимостями, характеризующими взаимосвязь между содержанием углекислого газа у поверхности древесины (CO_2) и длительностью процесса разложения (t):

– для образцов, находящихся в начальной стадии разложения:

$CO_2 = 5,34 \cdot t + 534,16$, достоверность аппроксимации составляет $R^2 = 0,972$;

– для образцов, находящихся в развитой стадии разложения:

$CO_2 = -0,59 \cdot t^2 + 66,87 \cdot t + 1762,20$, достоверность аппроксимации составляет $R^2 = 0,984$.

Быстроту изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины можно определить следующим образом:

$$V_{CO_2} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta CO_2}{\Delta t} = \frac{dCO_2}{dt}.$$

Тогда быстрота (скорость) изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины равна:

– для образцов, находящихся в начальной стадии разложения:

$$V_{CO_2} = \frac{dCO_2}{dt} = \frac{d(5,34 \cdot t + 534,16)}{dt} = 5,34 \text{ ppm/сутки};$$

– для образцов, находящихся в развитой стадии разложения:

$$V_{CO_2} = \frac{dCO_2}{dt} = \frac{d(-0,59 \cdot t^2 + 66,87 \cdot t + 1762,20)}{dt} = -1,18 \cdot t + 66,87 \text{ ppm/сутки}.$$

Плавность быстроты изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины можно определить следующим образом:

$$a_{CO_2} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V_{CO_2}}{\Delta t} = \frac{dV_{CO_2}}{dt}.$$

Тогда плавность быстроты изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины равна:

– для образцов, находящихся в начальной стадии разложения:

$$a_{CO_2} = \frac{dV_{CO_2}}{dt} = \frac{d(5,34)}{dt} = 0 \text{ ppm/сутки}^2;$$

– для образцов, находящихся в развитой стадии разложения:

$$a_{CO_2} = \frac{dV_{CO_2}}{dt} = \frac{d(-1,18 \cdot t + 66,87)}{dt} = -1,18 \text{ ppm/сутки}^2.$$

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Содержание углекислого газа у поверхности древесины не подверженных разложению образцов изменяется незначительно, причем по величине примерно равно содержанию углекислого газа в наружном воздухе (вне помещений).

2. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов, находящихся в начальной и развитой стадиях разложения, непрерывно увеличивается, причем по величине значительно превышает содержание углекислого газа в наружном воздухе (вне помещений).

3. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов, находящихся в начальной стадии разложения, увеличивается плавно с постоянной скоростью, равной 5,34 ppm/сутки. Изменение содержания углекислого газа можно описать уравнением $CO_2 = 5,34 \cdot t + 534,16$.

4. Содержание углекислого газа у поверхности древесины образцов, находящихся в развитой стадии разложения, увеличивается резко. Причем быстрота изменения содержания углекислого газа у поверхности древесины замедляется и плавность замедления составляет 1,18 ppm/сутки². Изменение содержания углекислого газа можно описать уравнением $CO_2 = -0,59 \cdot t^2 + 66,87 \cdot t + 1762,20$.

5. Результаты исследования подтверждают справедливость выдвинутой гипотезы о том, что изменение содержания углекислого газа у поверхности древесины является маркером процесса разложения древесины. Полученные закономерности позволяют выявить процесс разложения древесины на начальных стадиях и купировать его существующими мероприятиями по защите древесины.

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов и аспирантов ПетрГУ, финансируемой Правительством Республики Карелия.

Список литературы

1. Серова Т.А., Титова Ю.А., Шенин Ю.Д. Химический метод оценки степени биodeградации древесины конструк-

- тивных элементов // Magazine of Civil Engineering. 2014. № 3. С. 77–89. DOI: 10.5862/MCE.47.9.
2. Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Микелиз древесины, его продукты и их использование. I. Экологические аспекты микологического разрушения древесины // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 2. С. 81–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87.
3. Гаврилов Т.А., Станкевич Т.Б. The Influence of Natural and Climatic Factors on the Process of Biodegradation of Timber. Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 5 (25). С. 1–6. DOI: 10.23649/jae.2022.5.25.01.
4. Кистерная М.В., Любимцев А.Ю. Система комплексного профилактического обслуживания памятников деревянного зодчества: научно-методические рекомендации. Петрозаводск: Издательский центр музея-заповедника «Киж», 2016. 70 с.
5. Ванин С.И. Гниль дерева: ее причины и меры борьбы. М. – Л.: Государственное издательство сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1931. 159 с.
6. Строганов В.Ф., Бойчук В.А., Сагадеев Е.В. Биоповреждение древесных материалов и конструкций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2 (28). С. 185–193.
7. Кистерная М.В. Оценка состояния древесины архитектурных памятников: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2000. 24 с.
8. Горбань М.В., Ямпольская Т.Д. Физиологические аспекты деструкции синтетических и природных полимеров коллекционными и аборигенными штаммами микромицетов // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1. С. 2206–2210.
9. Третько В.В., Божелко И.К., Снопков В.Б. Абиотические и биологические факторы, влияющие на разрушение древесины в период эксплуатации // Труды БГТУ. 2015. № 2. С. 152–157.
10. Кистерная М.В., Козлов В.А. Методика мониторинга биологических вредителей исторических построек // Системный подход к сохранению памятников деревянного зодчества. Интернет-публикация kizhi.karelia.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://kizhi.karelia.ru/library/sistemnyiy-podhod-2017/1784.html> (дата обращения: 01.10.2022).
11. Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Микелиз древесины, его продукты и их использование. II. Биолого-морфологические процессы микологического разрушения древесины // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 5. С. 89–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-89-96.

УДК 62:658.512.4

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРИПУСКОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

¹Масягин В.Б., ²Денисова Е.Ю., ¹Артюх Р.Л.

¹Омский государственный технический университет, Омск,
e-mail: masaginvb@mail.ru, artyukh_roman@rambler.ru

²Филиал АО «ОДК» «ОМО им. П.И. Баранова», Омск, e-mail: denisova-eyu@uecrus.com

Обеспечение минимальных значений операционных припусков является важной технологической задачей, однако эти значения не указываются непосредственно в технологической документации и, следовательно, не контролируются. Величина минимального припуска может быть автоматически гарантирована только в результате проведения размерного анализа технологического процесса. Проведено сравнительное исследование минимальных припусков для двух технологических процессов механической обработки – заводского, без размерного анализа, и для того же технологического процесса с размерным анализом. Размерный анализ проводился с применением компьютерных программ «Расчет линейных технологических размеров и допусков “DIAMOND”» и «Проверочный расчет линейных технологических размеров и допусков “DIAMOND-B”». Дана характеристика компьютерных программ для проектного и проверочного расчета технологических размеров, допусков и припусков, показан вид исходных данных и описаны порядок и результаты расчетов. В качестве исходных данных использованы геометрические модели чертежа детали, эскиза заготовки и операционных эскизов технологического процесса, информация о которых заносится в таблицы определенного формата с последующим переносом в файл исходных данных. В ходе расчетов выполняется проверка введенных данных, обеспечиваются конструкторские требования по допускам и получаются результаты, содержащие данные о технологических размерах, допусках и припусках. Показано преимущество размерного анализа при обеспечении минимальных припусков.

Ключевые слова: деталь, заготовка, размерные цепи, размерный анализ, геометрическая модель, припуск

APPLICATION OF THE DIMENSIONAL ANALYSIS METHODOLOGY TO ENSURE MINIMUM VALUES OF OPERATING ALLOWANCES IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL PROCESSING

¹Masyagin V.B., ²Denisova E.Yu., ¹Artyukh R.L.

¹Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: masaginvb@mail.ru, artyukh_roman@rambler.ru

²Filial AO «ODK» «P.I. Baranov OMO», Omsk, e-mail: denisova-eyu@uecrus.com

Ensuring the minimum values of operating allowances is an important technological task, however, these values are not specified directly in the technological documentation, and, therefore, are not controlled. The value of the minimum allowance can be automatically guaranteed only as a result of a dimensional analysis of the technological process. A comparative study of the minimum allowances for two technological processes of mechanical processing – factory, without dimensional analysis, and for the same technological process with dimensional analysis. The dimensional analysis was carried out using computer programs «Calculation of linear technological dimensions and tolerances “DIAMOND”» and «Verification calculation of linear technological dimensions and tolerances “DIAMOND-B”». The characteristic of computer programs for design and verification calculation of technological dimensions, tolerances and allowances is given, the type of initial data is shown and the order and results of calculations are described. As initial data, geometric models of the drawing of the part, the sketch of the workpiece and operational sketches of the technological process are used, information about which is entered in tables of a certain format, followed by transfer to the source data file. During the calculations, the entered data is checked, design requirements for tolerances are provided and results containing data on technological dimensions, tolerances and allowances are obtained. The advantage of dimensional analysis in providing minimum allowances is shown.

Keywords: part, workpiece, dimensional chains, dimensional analysis, geometric model, allowance

Задача обеспечения рациональных припусков остается одной из наиболее важных при обеспечении высокого качества, надежности, экономичности машиностроительной продукции. Разработанный В.М. Кованом [1] метод расчета припусков на обработку в сочетании с методом размерных цепей Б.С. Балакшина [2] и методикой применения графов для на-

глядного представления и автоматизации расчета размерных цепей Б.С. Мордвинова [3] были и остаются основными теоретическими средствами для решения данной задачи. Метод, использующий эти средства для размерно-точных расчетов при проектировании технологии механической обработки, – это метод размерного анализа [3, 4], позволяющий, в частности,

оптимально назначить размерную структуру, установить рациональные значения технологических допусков и операционных припусков.

Несмотря на имеющиеся достижения в теории и практике [5, 6, 7] размерного анализа, на многих предприятиях продолжают использовать вместо размерного анализа метод «проб и ошибок» при назначении параметров обработки на операциях технологических процессов, особенно это касается операционных припусков. Это связано с тем, что, в отличие от операционных допусков, операционные припуски не указываются непосредственно в технологической документации и, следовательно, непосредственно не контролируются.

При этом от обеспечения минимальных припусков прямо зависят качество и экономичность изготавливаемой продукции [8, 9, 10]. Существует значение минимального операционного припуска [1], которое соответствующим образом рассчитывается и должно быть обязательно обеспечено. При заниженных значениях минимальных припусков на поверхности детали останутся следы предшествующей обработки («чернота») или неудаленные дефекты поверхностного слоя. При завышенных значениях увеличиваются потери материала и затраты на удаление припусков. В то же время при проведении современного размерного анализа операционные технологические размеры и размеры заготовки рассчитываются таким образом, что автоматически гарантируется удаление минимальных припусков [11, 12, 13].

Выполним сравнительное исследование двух технологических процессов механической обработки детали – заводского – с назначенными опытным путем без размерного анализа технологическими размерами, и расчетного – с размерным анализом. Определим значения минимальных припусков для каждого технологического процесса и сравним полученные результаты. Для краткости ограничимся только линейными технологическими размерами.

Материалы и методы исследования

Все задачи технологических размерных расчетов могут быть разделены на проектные и проверочные [2]. При решении проектной задачи требуется определить параметры составляющих звеньев размерной цепи – технологических размеров – по заданным замыкающим звеньям размерной цепи – конструкторским размерам и припускам. При решении проверочной задачи требуется определить, правильно ли реше-

на проектная задача расчета технологических размеров, допусков и припусков.

В данном случае будем выполнять, во-первых, проверочный расчет технологических размеров, допусков и припусков заводского технологического процесса, при проектировании которого данные параметры назначались опытным путем, без проведения размерного анализа, во-вторых, выполним проектный и проверочный расчет технологических размеров, допусков и припусков того же технологического процесса в соответствии с положениями размерного анализа.

На кафедре «Технология машиностроения» ОмГТУ разработаны компьютерные программы: «Расчет линейных технологических размеров и допусков “DIAMOND”» и «Проверочный расчет линейных технологических размеров и допусков “DIAMOND-B”» [14].

Отличительной особенностью данных компьютерных программ является то, что исходные данные для них подготавливаются в виде текстовых файлов, содержащих форматированную информацию о геометрической модели чертежа детали и об информационно связанных с этой моделью за счет сквозной нумерации поверхностей геометрических моделях заготовки и операционных эскизов (рис. 1) (программа «DIAMOND») с добавлением информации о значениях операционных технологических размеров (программа «DIAMOND-B»). Геометрическая модель детали представляет собой эскиз детали, на котором пронумерованы только торцы и обозначены только линейные конструкторские размеры. Торцы – границы линейных конструкторских размеров, которые открыты влево, обозначены знаком «минус», вправо – знаком «плюс». Все линейные конструкторские размеры с подробным описанием помещаются в таблицу (табл. 1).

Соответствующие торцы геометрических моделей заготовки и операционных эскизов (рис. 1) обозначаются аналогичными номерами торцов геометрической модели детали. Размеры заготовки и операционные технологические размеры на всех операциях, на которых обрабатываются торцы, обозначаются последовательно возрастающими номерами. Обозначенные таким способом технологические размеры помещаются в соответствующую таблицу (табл. 2). В таблице 2 приведены два варианта границ линейных размеров заготовки – заводской и расчетный. Границы линейных размеров заготовки на рисунке 1 указаны в соответствии с простановкой линейных размеров на чертеже заводской заготовки.

Таблица 1

Описание линейных конструкторских размеров детали

Номер размера	Номинальное значение	Отклонения размера		Границы размера	
		Верхнее	Нижнее	Левая	Правая
1	23	0,05	-0,05	-5	13
2	15	0	-0,24	-1	-5
3	22	0,1	-0,1	-5	12
4	5	0	-0,16	-5	6
5	4	0,3	-0,3	12	14
6	28	0,1	0,05	10	13
7	4	0,2	-0,2	-9	10
8	1	0	-1,0	6	7
9	6	0,2	-0,2	-11	13
10	22,5	0,2	-0,2	-1	-8
11	2	0,4	0	-1	-2
12	7	0,2	0	2	3
13	4	0,2	-0,2	-4	7

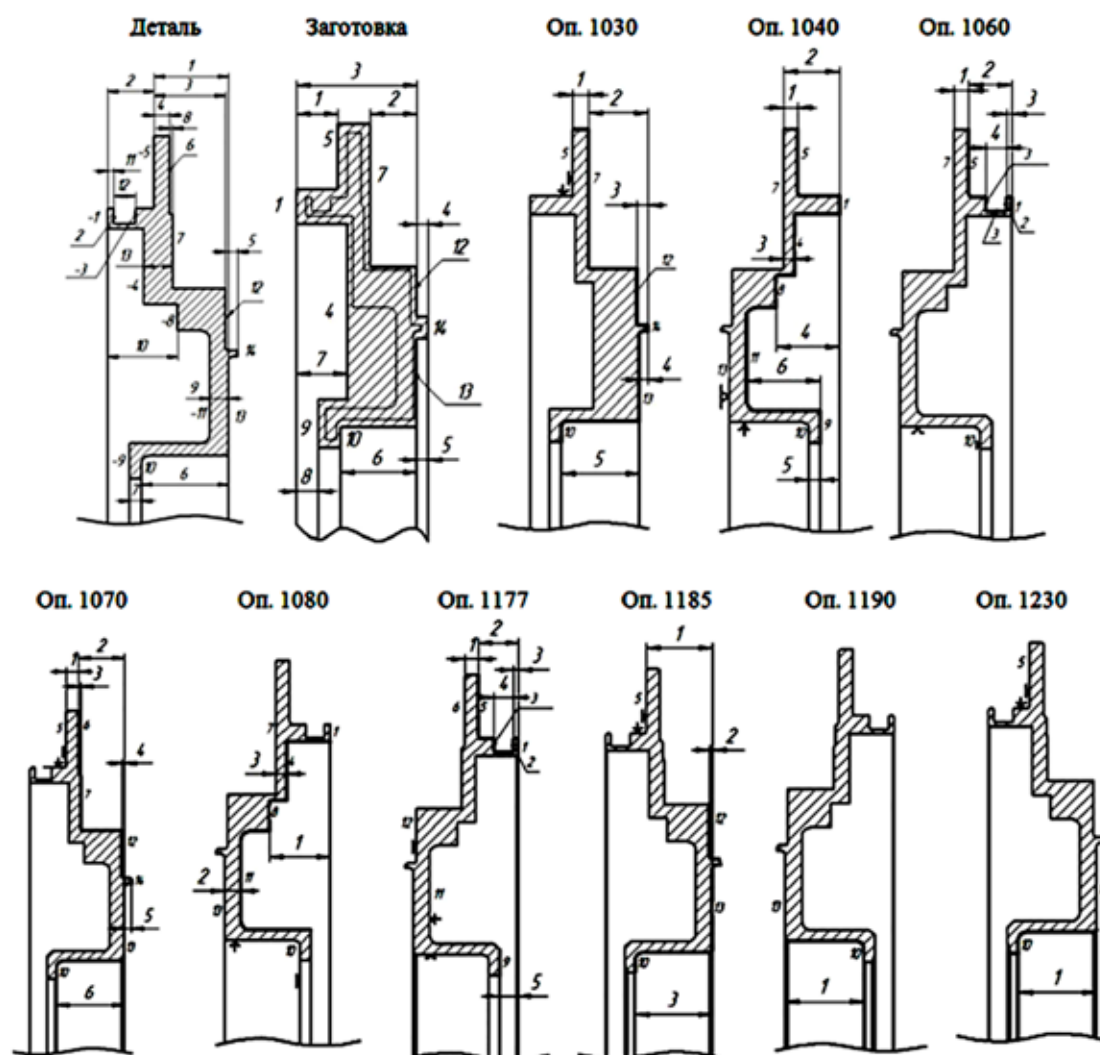


Рис. 1. Геометрические модели детали, заготовки и операционных эскизов технологического процесса

Таблица 2

Описание линейных технологических размеров

Номер операции	Номер базы	Число линейных размеров	Границы линейных размеров
Заготовка	–	8	1,5; 7,12; 1,12; 12,14; 14,13; 13,10; 1,4; 1,9 (<i>заводские</i>)
			1,5; 7,5; 5,12; 5,14; 5,13; 5,10; 5,4; 5,9 (<i>расчетные</i>)
1030	5	5	5,7; 7,14; 14,12; 14,13; 13,10
1040	13	6	7,5; 7,1; 7,4; 1,8; 10,9; 9,11
1060	10	4	7,5; 5,1; 1,2; 2,3
1070	5	6	5,6; 6,13; 6,7; 13,12; 13,14; 13,10
1080	10	3	1,8; 13,11; 7,4
1177	12	5	6,5; 5,1; 1,2; 2,3; 1,9
1185	5	3	5,3; 13,12; 13,10
1190	13	1	13,10
1230	5	1	13,10

Таблица 3

Расчетные значения минимальных операционных припусков

Индекс припуска	Значение
1030.01, 1030.02, 1030.03, 1030.04, 1030.05, 1040.01, 1040.02, 1040.03, 1040.05	0,490
1060.01, 1060.02, 1070.02, 1070.03, 1070.04, 1070.05, 1070.06, 1080.01, 1080.02, 1080.03, 1177.03, 1177.04, 1177.05	0,200
1177.01, 1177.02, 1185.01, 1185.02, 1185.03	0,050
1190.01	0,020
1230.01	0,010

Однако данная заводская простановка размеров заготовки выполнена без учета рекомендаций теории размерного анализа относительно простановки размеров заготовки. В соответствии с рекомендациями теории размерного анализа все размеры заготовки должны быть проставлены от поверхности, являющейся базой на первой операции, т.е. от поверхности 5, что и выполнено для расчетного варианта простановки размеров заготовки. Данная рекомендация направлена на уменьшение погрешностей припусков, так как погрешности припусков включают в себя допуски на размеры заготовки.

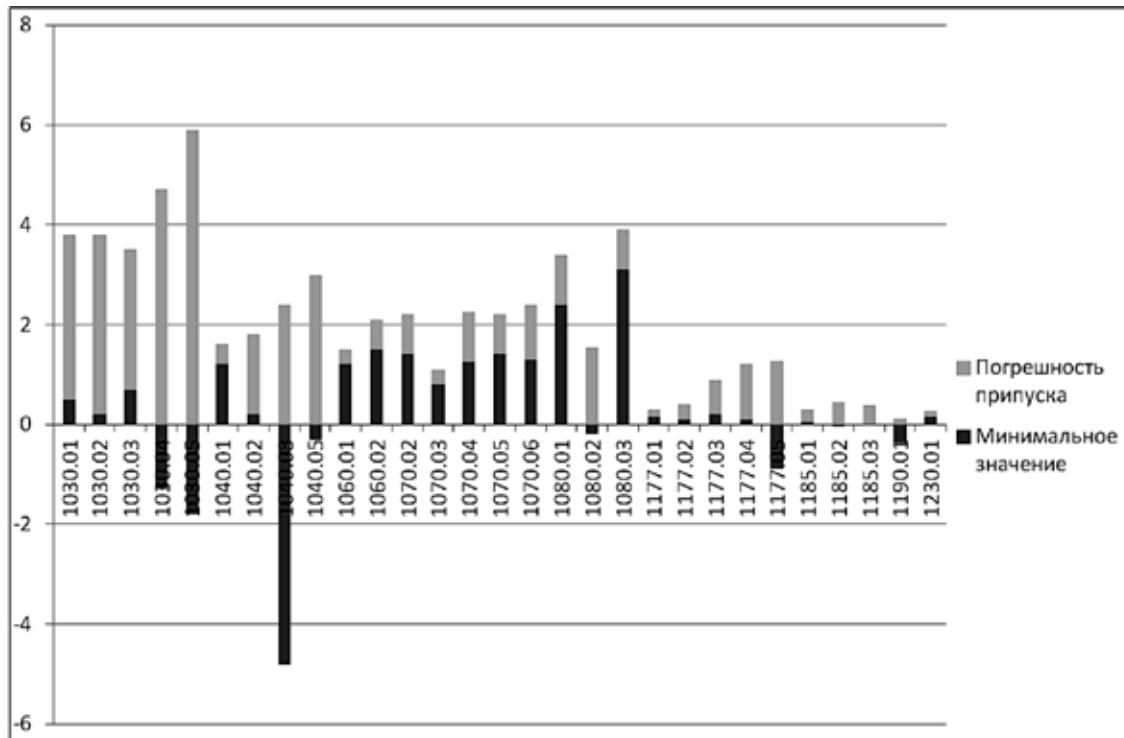
Далее выполнялось автоматизированное решение проектной задачи с помощью программы «DIAMOND» для одного варианта – расчетных исходных данных, и проверочной задачи размерного анализа с помощью программы «DIAMOND-B» для двух вариантов исходных данных – заводских и расчетных. При этом в качестве расчетных минимальных операционных припусков (табл. 3) были приняты значения на основе справочных данных, равные суммам значений шероховатости на пред-

шествующей операции и глубины дефектного слоя.

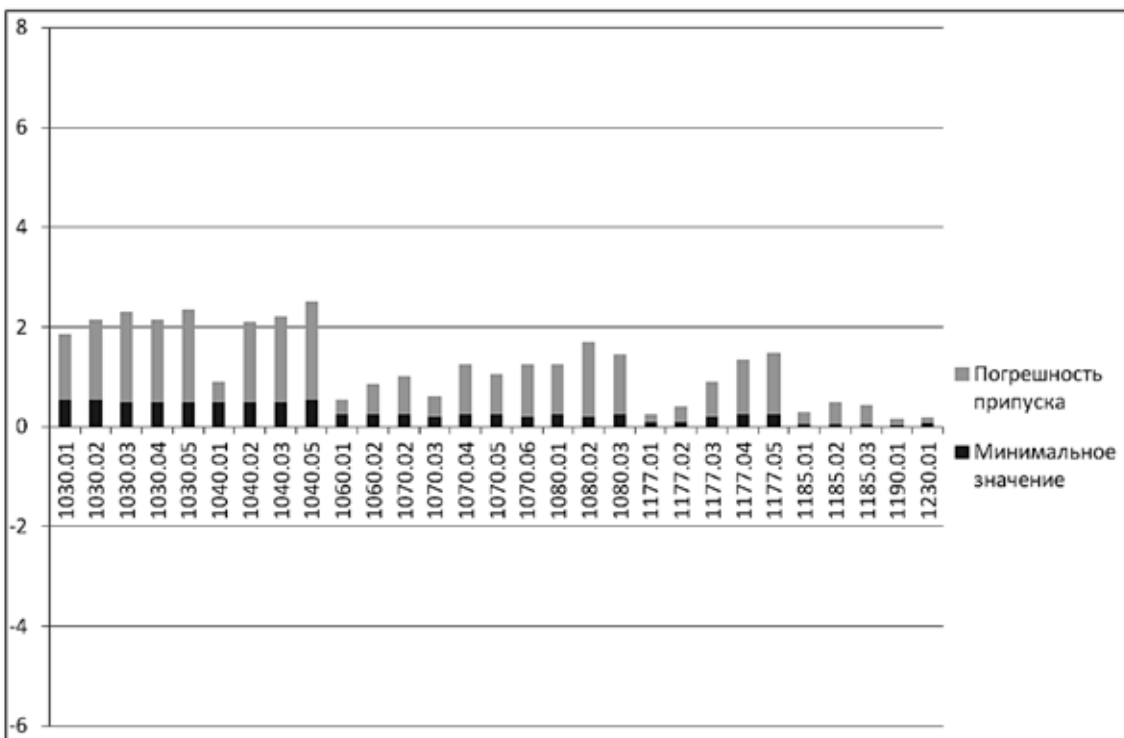
Расчетные значения технологических размеров были получены в результате решения проектной задачи с помощью программы «DIAMOND» частично с теми же заводскими данными, что и для заводского технологического процесса, а именно с теми же границами и технологическими допусками на всех операциях технологического процесса, но с исправленными в соответствии с рекомендациями теории размерного анализа границами размеров заготовки.

Заводские и полученные расчетные значения, как уже было сказано выше, заносились в файл исходных данных программы «DIAMOND-B» путем добавления к файлу исходных данных программы «DIAMOND».

На первом этапе проверочного расчета, выполняемого с помощью программы «DIAMOND-B», определялась ожидаемая погрешность конструкторских размеров. В рассматриваемом случае все технологические допуски для обоих вариантов исходных данных были назначены правильно, все допуски конструкторских размеров обеспечиваются.



а)



б)

Рис. 2. Значения заводских (а) и расчетных (б) операционных минимальных припусков и погрешностей операционных припусков

На втором этапе проверочного расчета определялось, обеспечиваются ли значения верхнего и нижнего отклонений конструкторских размеров и минимальных операционных припусков. Для этого программой производилось автоматическое сравнение полученных в результате проверочного расчета значений конструкторских размеров и минимальных операционных припусков с заданными значениями (табл. 1 и 3) с выдачей соответствующих сообщений.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты проверочного расчета двух вариантов линейных технологических размеров показаны в виде диаграмм (рис. 2), построенных на основе полученных числовых данных об операционных минимальных припусках и погрешностях припусков.

На рисунке 2а показаны результаты проверочного расчета для заводского технологического процесса, на рисунке 2б – результаты проверочного расчета для расчетного варианта технологического процесса.

На рисунке 2 нижние, более темные части блоков показывают значения минимальных операционных припусков, верхние, светлые части блоков показывают значения погрешностей операционных припусков.

Темные части блоков, расположенные ниже горизонтальной оси, означают отрицательные значения минимальных припусков, соответственно, темные части блоков, расположенные выше горизонтальной оси, означают положительные значения минимальных припусков. Погрешность припуска считается верхним отклонением припуска, а минимальное значение припуска – его номинальным значением. Наибольшее значение припуска равно сумме минимального значения припуска и погрешности припуска.

Сравнительный анализ значений минимальных операционных припусков для заводского технологического процесса (рис. 2а) и расчетного (рис. 2б) показывает, что некоторые минимальные операционные припуски в первом случае имеют отрицательные значения (переходы 1030.04, 1030.05, 1040.03, и др.), на данных переходах возможно появление черноты, в то же время ряд минимальных заводских операционных припусков имеет завышенные значения (переходы 1040.01, 1060.01, 1060.02 и др.), на данных переходах возникают излишние потери материала. Кроме того, заводской вариант имеет завышенные погрешности операционных припусков из-за нерациональной протановки размеров заготовки.

Расчетные минимальные операционных припуски (рис. 2б) соответствуют расчетным назначенным значениям (табл. 3), незначительно увеличенным вследствие корректировки (округления) операционных технологических размеров. Погрешности операционных припусков на начальных операциях для расчетного варианта значительно ниже вследствие принятия вышеупомянутого требования, что все размеры заготовки должны назначаться от базы на первой операции. На последующих операциях погрешности операционных припусков для заводского и расчетного вариантов совпадают.

Заключение

Технологический процесс, спроектированный с применением методики автоматизированного размерного анализа, обладает преимуществом по сравнению с технологическим процессом, в котором технологические размеры назначены другими способами, с точки зрения гарантированного обеспечения научно обоснованных значений минимальных операционных припусков и погрешностей операционных припусков.

Результаты получены на основе методики, разработанной на филиале АО «ОДК» «ОМО им. П.И. Баранова».

Список литературы

1. Кован В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. Справочное пособие. М.: Машгиз, 1953. 208 с.
2. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1982. 387 с.
3. Мордвинов Б.С. Исследование геометрических структур с применением методов теории графов // Известия вузов. Машиностроение. 1965. № 3. С. 111-118.
4. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. М.: Машиностроение, 1975. 222 с.
5. Масыгин В.Б., Кошин А.А., Шамин В.Ю. Этапы развития теории и практики размерно-точностного проектирования в ОмГТУ и ЮУРГУ // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сборник научных трудов I Международной заочной научно-технической конференции. Челябинск: Изд-во ЮУРГУ, 2014. С. 117-123.
6. Галкин М.Г., Смагин А.С. Вероятностный расчет технологических размерных цепей с учетом колебаний значений технологических припусков // Вестник машиностроения. 2014. № 12. С. 44-46.
7. Юрьев В.Г., Зубарев Ю.М. Расчет припусков для поверхностей с покрытиями // Справочник. Инженерный журнал. 2017. № 12 (249). С. 30-34.
8. Кондаков А.И., Никифоров Д.Н. К вопросу об определении припусков на обработку термически упрочняемых поверхностей заготовок // Справочник. Инженерный журнал. 2019. № 8 (269). С. 3-7.
9. Rogozin G.I., Ispiryan N.V., Ispiryan S.P. К вопросу о расчете припусков на механическую обработку // Вестник Тверского государственного технического университета. 2015. № 2 (28). С. 79-81.

10. Колыбенко Е.Н. Определение наименьшего межпериодного и интегрального общего припусков для информационной технологии автоматизированной подготовки механообрабатывающего производства // Справочник. Инженерный журнал. 2022. № 7 (304). С. 34-44.

11. Масыгин В.Б., Артюх Р.Л. Обеспечение равномерности припусков на основе информации о заготовке // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти главного конструктора ПО «Полёт» А.С. Клинышкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. С. 20-25.

12. Калачев О.Н., Калачева Д.А. Об учете колебания припусков при автоматизации расчета технологических размеров механообработки // Инновации в машиностроении

(ИНМАШ – 2018): сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2018. С. 253-257.

13. Калачев О.Н., Калачева Д.А. К уточнению расчета припусков при автоматизации размерного анализа технологического процесса механообработки // Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы Международной научно-практической конференции. Уфа: УГНТУ, 2018. №1(5). С. 88-92.

14. Масыгин В.Б. Автоматизированный расчет линейных технологических размеров при проектировании и анализе технологических процессов механической обработки // Материалы VI всероссийской научно-практической конференции «Машиностроение – традиции и инновации (МТИ-2013)»: сборник докладов. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2013. С. 100-106.

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ МОРСКОЙ ЗОНДИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ И БУКСИРУЕМЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОС

Оленин А.Л.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: olenant@hotmail.com

При проведении морских экспедиций возникает задача оперативного измерения глубины погружения зондирующей аппаратуры с точностью до десятых долей метра. В статье рассмотрена разработка телеметрической системы измерения глубины геофизической косы и зондирующего комплекса регистрации частиц. Рассмотрены датчики гидростатического давления, применяемые в океанологических приборах. Указано, что самостоятельная разработка подобных датчиков нецелесообразна. Отмечено, что в последние годы в промышленности широко распространились распределенные системы сбора данных и управления. Это системы управления различных производств, с расстояниями между пунктами диспетчеризации и объектами управления в сотни метров и километры. Управление при этом организуется при этом через SCADA-системы, а датчики и исполнительные устройства коммутируются через унифицированные проводные интерфейсы. Преимущество этих интерфейсов заключается в сохранении метрологической точности при передаче данных от датчиков, высокой устойчивости к промышленным помехам при достаточной скорости передачи данных. Для описанной телеметрической системы косы был выбран один из таких интерфейсов – RS-485, устойчивый к помехам, что особенно важно для судовой аппаратуры. Приведено описание функциональной системы телеметрической системы на основе готовых заказных датчиков с таким интерфейсом при диапазоне измерения давления 0–20 атм, что соответствует диапазону 0–200 м при требуемой точности 0,5 м. Описан алгоритм функционирования системы, приведены результаты ее практического использования. Отмечено, что она эффективно отслеживает вертикальное положение косы и позволяет предотвратить касание ею грунта. На основе одиночного контейнера системы разработано эффективное решение для измерения глубины погружения оптического регистратора зондирующего комплекса регистрации частиц.

Ключевые слова: глубина погружения, геофизическая коса, датчик, телеметрическая система, судовая аппаратура, электрические помехи

DEPTH MEASUREMENT OF MARINE SOUNDING EQUIPMENT AND TOWED GEOPHYSICAL LINES

Olenin A.L.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: olenant@hotmail.com*

When carrying out sea expeditions, the problem arises of promptly measuring the depth of immersion of probing equipment with an accuracy of tenths of a meter. The article considers the development of a telemetric system for measuring the depth of a geophysical line and a probing complex for registering particles. Hydrostatic pressure sensors used in oceanographic instruments are considered. It is indicated that the independent development of such sensors is impractical. It is noted that in recent years, distributed data collection and control systems have become widespread in industry. These are control systems of various industries, with distances between dispatching points and control objects of hundreds of meters and kilometers. At the same time, control is organized through SCADA systems, and sensors and actuators are switched through unified wired interfaces. The advantage of these interfaces is the preservation of metrological accuracy when transmitting data from sensors, high resistance to industrial interference at a sufficient data transfer rate. For the described line telemetry system, one of these interfaces was chosen, RS-485, which is resistant to interference, which is especially important for shipboard equipment. A description of the functional system of a telemetry system based on ready-made custom sensors with such an interface is given for a pressure measurement range of 0-20 atm, which corresponds to a range of 0-200 m with the required accuracy of 0.5 meters. The algorithm of the system functioning is described, the results of its practical use are presented. It is noted that it effectively monitors the vertical position of the line and prevents it from touching the ground. Based on a single container of the system, an efficient solution was developed for measuring the immersion depth of the optical recorder of the probing particle detection complex.

Keywords: immersion depth, geophysical streamer, sensor, telemetry system, ship equipment, electrical noise

При проведении морских экспедиционных работ возникают задачи оперативного измерения глубины погружения различной зондирующей аппаратуры с точностью до десятых долей метра. Это могут быть как одиночные погружаемые приборы, так и различные протяженные косы. Рассмотрим разработку и использование системы измерения глубины буксируемой геофизической косы. На основе данной системы

также была разработана система измерения глубины зондирующего комплекса регистрации частиц.

Морские геофизические косы могут быть как плавающими, так и погруженными. Готовая коса монтируется на специальной лебедке на палубе в кормовой части судна-носителя. Разворачивание косы на заданном полигоне работы выполняется следующим образом: судно-носитель ве-

дут прямым курсом на малом управляемом ходу. Вытравливают косу в воду с лебедки с кормы судна, начиная с хвостовой части до головной, с последовательной установкой заглубителей и прочих необходимых элементов. Для правильной математической интерпретации результатов измерения погруженными косами желательнее обеспечить движение косы на заданном горизонте, для чего головной и хвостовой концы погруженной части косы снабжают заглубителями и гидродинамическими тормозящими устройствами.

Для настройки и контроля горизонтальности погруженной косы в процессе работы необходимо иметь возможность измерять глубину погружения нескольких заранее определенных точек косы, например головной, средней и хвостовой. Решением этой задачи является оснащение косы телеметрической системой измерения глубины в выбранных точках. Целью исследования представляется разработка реальной распределенной телеметрической системы измерения глубины для работы в составе буксируемой кабельной погруженной геофизической косы, а также схемы системы измерения глубины зондирующего комплекса регистрации частиц.

Материалы и методы исследования

Основные вопросы терминологии измеряемых физических величин приведены в [1]. В морской погружаемой аппаратуре для измерения глубины погружения используются датчики гидростатического давления. Их основой служат тензорезистивный мост, кварцевые частотные элементы и т.д. [2]. Основным требованием к океанологическим датчикам давления является очень высокая точность, необходимая для корректных STD-измерений [3]. Такие датчики избыточны по точности для измерения глубины погружения геологоразведочной аппаратуры и достаточно дороги.

Другим решением является создание собственных датчиков с использованием готовых мембранных модулей и готовых микроконтроллерных плат с АЦП устройств обработки для них. Разработчик вынужден при этом решать проблемы с метрологией, отладкой аналоговой и цифровой электроники и программированием, что, как минимум, неэффективно по трудозатратам и не дает гарантированного результата.

В последние годы в промышленности широко распространились распределенные системы сбора данных и управления. Это системы управления различных производственных цехов, нефте- и газопереработки, когда расстояния между пунктами

диспетчеризации и объектами управления составляют сотни метров и километры. Контуры сбора данных и управления организуются при этом через SCADA-системы, установленные на промышленных компьютерах, а датчики и исполнительные механизмы коммутируются по индустриальным кабельным линиям. Обслуживанием всей этой техники занимаются специальные подразделения КИПиА предприятий. Для передачи измерительной информации от датчиков и на пропорциональные исполнительные устройства широко применяются унифицированные проводные интерфейсы 0-5В, 4-20 мА, RS-485, Ethernet, ProfiBUS, EtherCAT. Основные требования к проводным интерфейсам:

- сохранение метрологической точности данных от датчиков;
- высокая устойчивость к промышленным помехам;
- высокая скорость передачи данных.

При этом для работы в составе пространственно-распределенной телеметрической системы важным становится правильно организованный помехоустойчивый интерфейс передачи данных вдоль косы. С практической точки зрения нежелательно использование аналоговых интерфейсов (напряжением или током) из-за необходимости применения дополнительных АЦП для последующей цифровой обработки данных. Для использования в телеметрической системе косы был выбран интерфейс RS-485 [4], так как он цифровой, имеет высокую скорость передачи данных, устойчив к помехам (это особенно важно для судовой аппаратуры).

Выбираем готовый заказной индустриальный датчик давления с вариантом исполнения выходного интерфейса RS-485. Выбираем датчик абсолютного гидростатического давления со штуцером, рабочей полостью и мембраной, выполненными из нержавеющей стали. Диапазон калибровки выбираем до 25 атм, при этом перегрузочная способность по давлению закладывается до 60 атм.

Телеметрическая система измерения глубины разработана для измерения глубины погружения трех различных точек геофизической косы. При этом коса наматывается на специально разработанную лебедку с барабаном большой вместимости, снабженный многоконтактным вращающимся токосъемником. Длина полностью развернутой косы равна 2000 м от судовой лебедки до хвостовой части, при этом погружаемый горизонтальный участок, контроль глубины которого необходим, составляет 1400 м. Диапазон рабочих глубин косы – до 150 м. Она

состоит из соединенных кабельной линией судового блока, трех контейнеров – датчиков давления, расположенных в начале, середине и конце погруженной части косы. Конструктивно коса представляет собой кабель нейтральной плавучести в полиэтиленовой изоляции с расположенными в нем проводными линиями геофизических датчиков, проводными линиями системы телеметрии, кевларовым силовым сердечником и прочими вспомогательными конструктивными кабельными элементами. Контейнеры представляют собой цилиндрические прочные корпуса из алюминиевого сплава с герморазъемами. Подключение контейнеров датчиков давления к косе осуществляется герметичными кабельными отводками с герморазъемами. Крепление контейнеров на косу осуществляется пластиковыми кабельными хомутами через прорезиненные тканевые прокладки, герморазъемы контролируются нержавеющей проволокой.

Контейнеры позволяют измерять абсолютное давление с диапазоном измерения давления 0–20 атм, что соответствует диапазону 0–200 м при требуемой точности 0,5 м. При этом контейнеры рассчитаны на погружение до глубины 600 м. Функциональная схема телеметрической системы измерения глубины геофизической косы представлена на рисунке 1.

Контейнер датчика давления 1 закреплен на головной части косы, контейнер датчика 2 – в средней части, а контейнер датчика 3 – в хвостовой части.

Телеметрическая система построена на основе интерфейса ModBUS RTU RS-485 под управлением программируемого

логического контроллера. Физически интерфейс связи организован по витой паре. Спецификация стандарта RS-485 предполагает максимальную длину сегмента без применения усилителей 1200 м. Для обеспечения запаса устойчивости RS-485 в контейнеры 1 и 2 введены усилители-умощнители интерфейса RS-485, при этом длины отдельных сегментов интерфейса равны соответственно 600, 700 и 700 м.

Под телеметрическую систему в косу были зарезервированы две витые пары сечением 0,35 мм² в полиэтиленовой изоляции и две линии питания сечением 0,75 мм². Для подключения контейнеров датчиков давления в местах их установки на косе сделаны отводки кабелем меньшего сечения, оконцованные 7-контактными герморазъемами. Контейнеры выполнены из алюминиевого сплава с двумя торцевыми крышками и внутренним приборным шасси.

Блок управления содержит программируемый логический контроллер (ПЛК), графический индикатор, блок питания, блок реле и многоконтактные разъемы. В системе использованы промышленные датчики абсолютного гидростатического давления с рабочими камерами и мембранами из нержавеющей стали. Интерфейс датчиков ModBUS RTU RS-485, адресация настраиваемая, скорость обмена данными 9600 бит/сек, частота опроса 0,3 сек, рабочий диапазон измеряемых давлений 0–20 атм с точностью $\pm 0,25\%$ от ВПИ. Перегрузочная способность датчиков по гидростатическому давлению составляет 60 атм, то есть контейнер с датчиком выдерживает нештатное погружение до глубины 600 м.

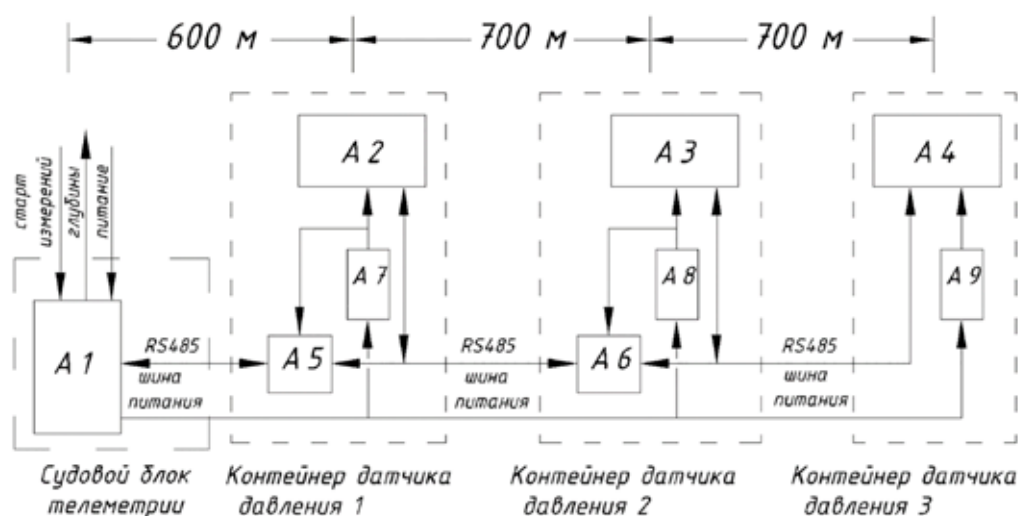


Рис. 1 Функциональная схема телеметрической системы измерения глубины геофизической косы (A1 – блок управления; A2, A3, A4 – цифровые датчики давления; A5, A6 – повторители-умощнители интерфейса RS-485; A7, A8, A9 – DC/DC импульсные стабилизаторы питания)

ПЛК обеспечивает индикацию глубин от 0 до 200 м с разрешением 1 м, выдача информации о текущих глубинах осуществляется в виде трех байт (значения от 0 до 255 м, реально датчики калиброваны, выдают даже чуть на большие значения, но разрядность байта ограничивает выходную величину).

После подачи разрешающего сигнала «Старт измерений» ПЛК замыкает контактные группы блока реле, тем самым подает на шину питания телеметрической системы посредством соответствующих контактов блока реле питающее напряжение, которое поступает на стабилизаторы напряжения А7, А8, А9, с выхода которых запитываются соответственно датчики давления А2, А3, А4 и усилители А5, А6. Кроме того, ПЛК через соответствующие контакты блока реле запрашивает датчики давления по интерфейсу RS485 (витая пара, протокол ModBUS), получает от них величины абсолютного давления и, преобразовав в соответствующие значения глубин погружения датчиков, выводит их на графический индикатор с одновременной выдачей на внешние устройства по асинхронному интерфейсу RS-232.

В случае отсутствия разрешающего сигнала «Старт измерений» ПЛК размыкает контактные группы блока реле, что приводит к снятию питающего напряжения с шины питания телеметрической системы, а также от ПЛК отсоединяется витая пара RS-485. После этого никакие токи (за исключением внешних наводок) по шине питания и шине RS485. Это позволяет проводить косой собственно требуемые геофизические исследования без электрических помех от системы телеметрии (как правило, это различные

измерения напряжений и токов с помощью АЦП высокой разрядности).

Результаты исследования и их обсуждение

Впервые работа телеметрической системы измерения глубины проверена в акватории Охотского моря. Буксировка косы осуществлялась на глубине около 50 м. Система может быть использована для настройки массы заглубителей, размеров тормозящих устройств, выбора оптимальной скорости буксировки. Опыт использования системы позволяет сделать следующие выводы.

1. Рабочий погруженный участок косы располагается не совсем горизонтально, а со снижением примерно в 2–7° (хвостовая часть ниже). Связано это с тем, что плавучесть косы не остается нейтральной при погружении.

2. При выполнении циркуляции судна (разворота на новый галс) коса заглубляется ниже рабочего горизонта, по причине чего ее желательно сматывать на лебедку

3. Система измерения глубины полезна при работе при выходе на малые глубины, для предотвращения касания косою грунта, когда данные от системы дополняются данными судового эхолота.

4. Возможно сочетание данных системы с данными гидрографических судовых навигационных систем.

Апробированные в ходе данной разработки технические решения по применению промышленных датчиков давления были использованы при проектировании высокоточной системы измерения глубины зондирующего комплекса регистрации частиц [5] в 2021–2022 гг. Схема блока управления зондирующего комплекса регистрации частиц представлена на рисунке 2.

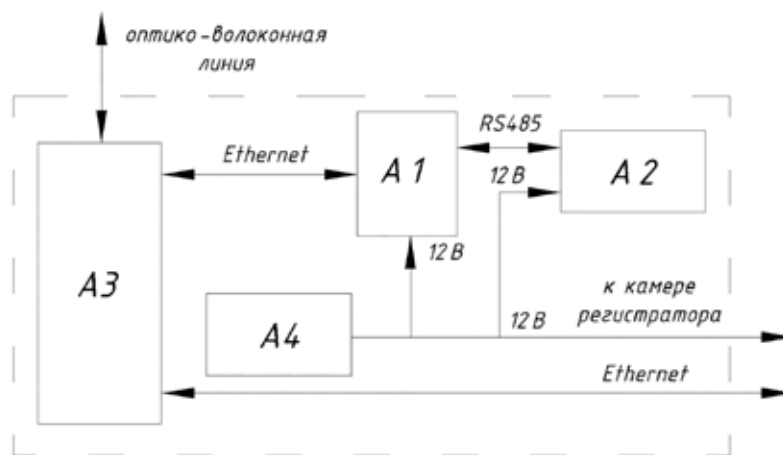


Рис. 2 Функциональная схема блока управления зондирующего комплекса регистрации частиц (А1 – преобразователь Ethernet-RS-485; А2 – датчик давления цифровой, А3 – двухканальный медиаконвертер, А4 – аккумуляторная батарея)

Опрос цифрового датчика давления выполняется так же, как и в телеметрической системе измерения глубины геофизической косы: через установленное на рабочее место оператора приложение системы промышленной автоматизации по интерфейсу RS-485 через преобразователь А1, один из Ethernet-каналов медиаконвертера А3, оптико-волоконную линию, медиаконвертер судового блока. Интерфейс датчиков ModBUS RTU RS-485, адресация настраиваемая, скорость обмена данными 9600 бит/сек, частота опроса 0,3 сек, рабочий диапазон измеряемых давлений 0–20 атм с точностью $\pm 0,25\%$ от ВПИ.

Выводы

Использование опыта создания надежной помехозащищенной телеметрической системы для геофизических кос позволило разработать эффективное решение для оперативного измерения глубины погружения оптического регистратора зондирующего комплекса регистрации частиц.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0010).

Список литературы

1. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин М.: Стандартинформ, 2018. 31 с.
2. Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., Коротаев Г.К., Ястребов В.С., Мотыжев С.В. Океанология. Средства и методы океанологических исследований: монография. М.: Наука, 200. 795 с.
3. Рамазин А.Н., Левашов Д.Е. Методические рекомендации по калибровке и метрологическому обеспечению измерителей параметров водной среды М.: Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, 2016. 127 с.
4. MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02. [Электронный ресурс]. URL: https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf (дата обращения: 25.10.2022).
5. Оленин А.Л., Бадюков И.Д., Коровчинский Н.М. и др. Видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси // Труды Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). 2021. Т. 184. С. 149-158. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-149-158.

УДК 551.465

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ НАВИГАЦИИ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ АППАРАТОВ

Розман Б.Я., Елкин А.В.

*ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва,
e-mail: borisdrug@mail.ru, elkin@gnomrov.ru*

В данной статье рассматриваются вопросы подводной навигации телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов. Для повышения эффективности и точности работы ТНПА целесообразно использование наряду с инерциальными также и гидроакустических систем позиционирования, позволяющих определять текущие координаты и передавать их на монитор оператора. Поскольку, как известно, GPS в воде не работает, но зато хорошо работает гидроакустическая аппаратура: гидрофоны, эхолоты, сонары, звуковизоры, маяки-ответчики и т.д. В них используются сигналы звукового и ультразвукового диапазона частот. Для обнаружения препятствия используются эхолот, альтиметр и гидролокатор кругового обзора. Координата рассчитывается посредством комплексирования данных с трех систем счисления пути: визуальной, инерциальной, координатной. Таким образом, задача перемещения в трехмерном пространстве сводится к решению двух задач на плоскости: определение направления (горизонтальная плоскость) и скорости движения (вертикальная плоскость). Разработанное программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме выделять контуры объектов (динамическое увеличение контрастности изображения для оператора), отслеживать смещение выделенных контуров в видеоряде с оценкой вектора смещения для системы динамического поддержания заданного курса и положения ТНПА, а также для системы визуального счисления пути. В статье рассматриваются технологии навигации средствами гидроакустики и бортовых инерциальных систем управления движением. Рассмотрены также подсистемы телекоммуникации, сбора, обработки данных с датчиков и визуализации данных телеметрии на экране монитора, а также системы технического зрения, адаптивного счисления пути.

Ключевые слова: подводный аппарат, робототехника, океан, исследования, наука

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF UNDERWATER NAVIGATION SYSTEMS FOR REMOTE-CONTROLLED VEHICLES

Rozman B. Ya., Elkin A. V.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: borisdrug@mail.ru, elkin@gnomrov.ru*

This article discusses the issues of underwater navigation of remote-controlled uninhabited underwater vehicles. To increase the efficiency and accuracy of the TNPA operation, it is advisable to use, along with inertial, also hydroacoustic positioning systems that allow determining the current coordinates and transmitting them to the operator's monitor. Since, as you know, GPS does not work in water, but sonar equipment works well – hydrophones, echo sounders, sonars, sound imagers, responder beacons, etc. They use signals of the acoustic and ultrasonic frequency range. An echo sounder, an altimeter and an all-round sonar are used to detect an obstacle. The coordinate is calculated by combining data from three path number systems: visual, inertial, coordinate. Thus, the problem of moving in three-dimensional space is reduced to solving two problems on a plane: determining the direction (horizontal plane) and the speed of movement (vertical plane). The developed software allows you to automatically select the contours of objects (dynamic increase in image contrast for the operator), track the displacement of the selected contours in the video sequence with an estimate of the displacement vector for the system of dynamic maintenance of a given course and position of the TNPA, as well as for the visual path numbering system. The article discusses navigation technologies by means of hydroacoustics and on-board inertial motion control systems. The subsystems of telecommunications, data collection, processing from sensors and visualization of telemetry data on the monitor screen, as well as systems of technical vision, adaptive path counting are also considered.

Keywords: underwater vehicle, robotics, ocean, researches, science

Перечень условных сокращений

БИНС – Бесплатформенная инерциальная навигационная система

ГАНС – Гидроакустическая навигационная система

ТНПА – Телеуправляемый обитаемый подводный аппарат

ИНС – Инерциальная навигационная система

ДУС – Датчик угловых скоростей

В данной статье рассмотрены вопросы ориентации ТНПА в водной среде. Для эффективной работы ТНПА [1] необходимо

использование гидроакустических систем позиционирования, позволяющих определять текущие координаты и передавать их на монитор оператора. Поскольку, как известно, GPS в воде не работает, но зато хорошо работает гидроакустическая аппаратура: гидрофоны, эхолоты, сонары, звуковизоры, маяки-ответчики и т.д. В них используются сигналы звукового и ультразвукового диапазона частот. В статье рассматриваются технологии подводной ориентации средствами гидроакустики и управления движением на основе этих данных.



Рис. 1. Структурная схема инерциальной навигационной системы

Рассмотрены также подсистемы телекоммуникации, сбора, обработки данных с датчиков и визуализации данных телеметрии на экране монитора, а также системы технического зрения, адаптивного счисления пути.

Сами авторы статьи – опытные разработчики отечественных малогабаритных ТНПА легкого класса (вес до 30 кг). Ими накоплен большой опыт разработок и эксплуатации ТНПА в разных видах работ. Далее рассмотрен ряд разработок, позволяющих усовершенствовать существующие ТНПА и повысить эффективность работ с ними.

В ходе работ были созданы соответствующие аппаратные и программные модули. Реализованы функции, позволяющие производить независимую настройку отдельных компонент системы [2].

Разработаны аппаратные и программные части модуля технического зрения.

Выбраны требуемые параметры бортового микрокомпьютера, произведена организация интерфейса между видеокамерой, бортовым вычислителем, береговой станцией и платформой ТНПА. Произведена первичная настройка микрокомпьютера платформы ТНПА.

Разработан алгоритм счисления пути на базе системы технического зрения. Алгоритм реализует предварительную обработку изображения, выделение и кластеризацию объектов.

В процессе работы был реализован интерфейс платформы с акустическими датчиками и алгоритмами автоматического и полуавтоматического (директивного) движения в заданную точку. Алгоритмы автоматического обхода препятствий, включающие в себя логику построения оптимальной траектории.

Повышение эффективности подводных работ за счет использования последних разработок ведущих фирм в области гидроакустических систем и бортовых инерциальных систем подводной навигации.

Установка и интеграция сенсоров в информационно-управляющую систему ТНПА.

Аппаратная интеграция.

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы нашли широкое применение в подводной робототехнике [3]. По сравнению с другими инерциальными навигационными системами БИНС обладают следующими преимуществами:

- универсальность;
- меньшие стоимость, размеры, масса;
- простота в использовании и интеграции в систему.

В отличие от платформенной ИНС, БИНС не имеет в составе гиросtabilизирующей платформы для выставления вертикали места и стабилизации своих датчиков. Отсутствие такого дорогостоящего и технически сложного устройства сказалось на повышении надежности, уменьшении времени интеграции в систему и, конечно же, на уменьшении стоимости.

Типовая схема ИНС представляет собой блок ДУС, блок акселерометров, набор интеграторов и сумматоров. Структурная схема изображена на рис. 1. Данная схема имеет ряд существенных недостатков, основной из которых – дрейф показаний датчиков и, как следствие, постепенное накопление ошибки определения положения [4]. При работе не в воде данная ошибка нивелируется наличием данных с GPS-модуля. При разработке системы ориентации комплекса ставилась задача минимизировать или исключить накопление данной ошибки и добиться длительной стабильной работы ИНС.

Материалы и методы исследования

В ходе анализа вышеперечисленных проблем и методов их решения был выявлен перечень изменений в структуре системы, определяющий ее конечный состав. Главными проблемами являются дрейф нулевой точки ДУСов и высокий уровень зашумлен-

ности данных акселерометров, приводящие со временем к неточным выходным данным. Как следствие, может возникнуть ошибка определения положения горизонта, при котором вертикальные перемещения могут стать причиной изменения показаний координат в других осях из-за паразитной составляющей силы, направленной вдоль перпендикулярных осей чувствительности датчиков. Помимо этого инерциальные датчики не позволяют определить ориентацию относительно магнитных полюсов планеты. Для решения этой задачи необходимо добавить в систему трехосевой магнитометр. Комплексование данных с магнитометра и ДУСов позволяет компенсировать накапливающуюся ошибку из-за дрейфа нуля и определить угол курса с достаточной достоверностью.

Для получения информации об ориентации ТНПА в пространстве, а также для получения данных, используемых в блоке инерциального счисления пути, был выбран модуль БИНС MTi-600 фирмы X-sense (Нидерланды). Надо отметить, что эти модули изначально предназначались для воздушных беспилотников. В состав данной БИНС входят трехосевые ДУС, акселерометр и магнитометр, а также вычислительный блок. Использование готовой БИНС позволило распределить вычислительные нагрузки. Архитектура модуля MTi-600 представлена на рис. 2.

Данный модуль содержит несколько интерфейсов связи: CAN, RS232, UART.

- CAN (Controller Area Network)

- Сеть контроллеров (CAN-шина) – это надежный стандарт, предназначенный для

обеспечения связи между устройствами в приложениях без главного компьютера. Интерфейс CAN MTi-600 не имеет согласующего резистора. Его можно использовать в шине CAN, которая уже имеет требуемую оконечную нагрузку. Если используется соединение с одним устройством, между выводами CAN_H и CAN_L необходимо добавить оконечный резистор 120 Ом.

- RS232 с управлением потоком RTS/CTS

- Интерфейс RS232 соответствует стандартным уровням напряжения RS232. Он включает аппаратное управление потоком через линии RTS и CTS.

- UART

Интерфейс UART можно использовать для прямого подключения к MCU с уровнями ввода-вывода 3,3 В. Пользователь может настроить модуль MTi серии 600 для связи через UART. Конфигурация кадра UART – 8 бит данных, без контроля четности и 1 стоповый бит (8N1). Протокол UART имеет только линии TX и RX без какого-либо управления потоком.

Для сопряжения с информационно-управляющей системой ТНПА используется интерфейс UART. Применение данного интерфейса обусловлено наличием свободных периферийных модулей бортового вычислителя ТНПА. По сравнению с RS-232 UART не требует использования преобразователей уровней сигналов, что позволило сохранить ранее отработанные схемотехнические решения. Также данный интерфейс является самым быстрым. В табл. 1 представлены диапазоны скоростей обмена модуля MTi-600.

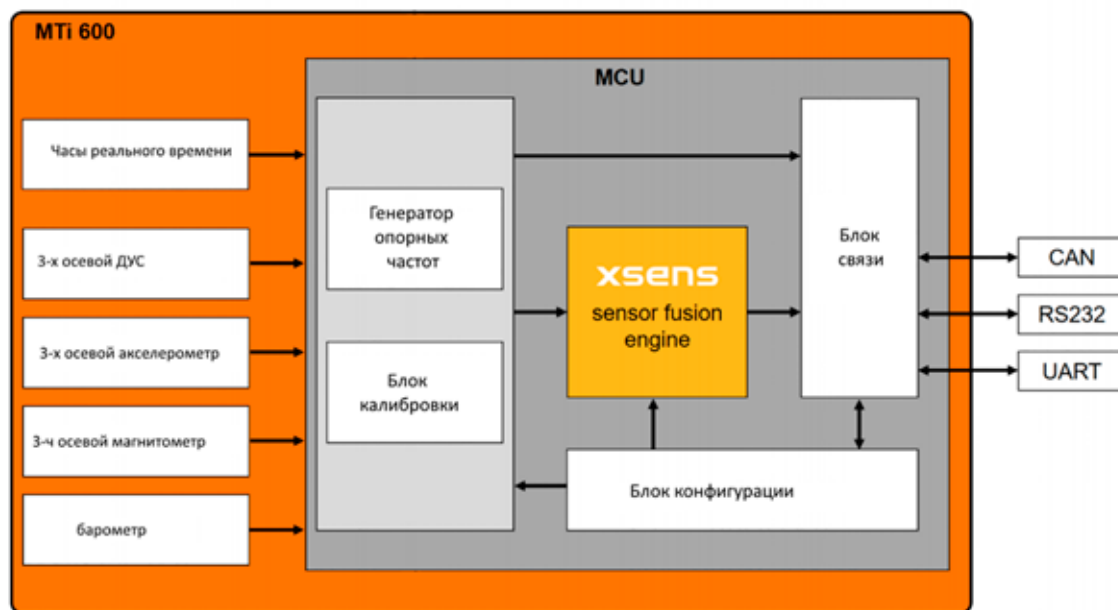


Рис. 2. Архитектура модуля MTi-600

Таблица 1

Скорость обмена данными с модулем

Интерфейс	Мин	Макс	Единица измерения
CAN	10.0	1000	кбит/с
RS232	4.8	1000	кбит/с
UART	4.8	2000	кбит/с

Обмен с модулем происходит на скорости 2 Мбит/с. Данные, полученные от модуля, используются в системе стабилизации курса управляющей системы ТНПА, а также по каналу передачи телеметрии поступают в береговую станцию, для отображения на мониторе оператора, а также для дальнейшей передачи в платформу ТНПА. Для обмена данными с модулем MTi-600 используется протокол XBus.

Для установки на ТНПА выбрана гидроакустическая навигационная система Evologics S2C 18/34. Основные характеристики представлены в табл. 2, внешний вид – на рис. 3.

Таблица 2

Основные характеристики гидроакустической системы Evologics S2C 18/34

Наименование	Описание	Основные характеристики
Evologics S2C 18/34	ГАНС УКБ	Всенаправленный модем Дальность связи до 3,5 км Частота коммуникаций 18–34 кГц Скорость: до 13,9 кбод/с Интерфейс подключения: Ethernet или RS-232 Максимальная мощность при передаче: 65 Вт, номинальная 35 Вт Питание 24 В Габариты: 11x18x27 см Вес: 2 кг



Рис. 3. Внешний вид модема Evologics S2C 18/34

Гидроакустический модем работает в режиме маяка-ответчика и не требует интерфейсного подключения к ТНПА. Информация с наземной станции ГАНС напрямую поступает в береговую станцию ТНПА.

Далее по интерфейсу связи передается в управляющую платформу ТНПА. Программное обеспечение разработано на языке программирования C++. В программном обеспечении платформы ТНПА предусмотрены следующие режимы автоматического движения ТНПА: движение в толще воды; движение по траектории вдоль поверхности дна; движение вдоль произвольной поверхности

Движение в толще воды предполагает отсутствие визуальных данных, используемых системой технического зрения в системе счисления пути, отсутствие препятствий. В общем случае ТНПА перемещается по прямолинейной траектории заданной двумя точками. Схема движения представлена на рис. 4. В данном режиме в системе счисления пути используются только данные с БИНС и гидроакустического оборудования, установленных на ТНПА.

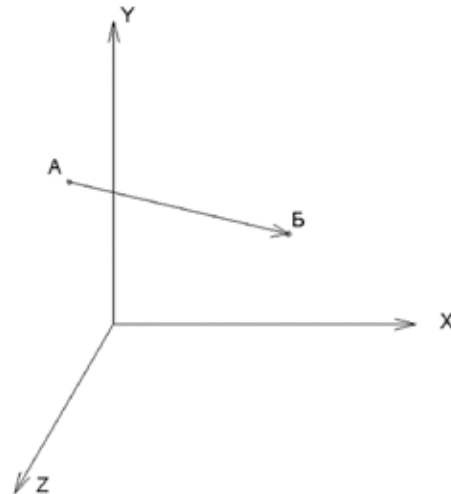


Рис. 4. Схема движения ТНПА

Для решения задачи перемещения ТНПА из точки А в точку В в автоматическом режиме декомпозируем данную задачу на следующие составляющие: определение необходимого направления (задание курса), расчет скорости горизонтального движения, расчет скорости вертикального движения.

По данным ГАНС [5] определяются координаты точки А. Далее определяется время, необходимое для перемещения (формула (1)), исходя из заданной скорости, ограниченной периодом обновления текущей координаты и ограничениями датчиков. Далее рассчитываются вертикальная и горизонтальная скорости по формуле (2):

$$t = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}{V_{max}}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} v_x = \frac{x_2 - x_1}{t} \\ v_y = \frac{y_2 - y_1}{t} \end{cases} \quad (2)$$

Следующим шагом, используя заданные координаты точки Б, рассчитывается направление на точку Б из точки А по формуле

$$\varphi = \arctg \left(\frac{|z_1 - z_2|}{|x_1 - x_2|} \right) \quad (3)$$

Задания скорости и направления движения рассчитываются при каждом обновлении данных координатной системы счисления пути. Движение по траектории вдоль поверхности дна. Траектория движения задается набором путевых точек и скоростью движения между точками. Движение между двумя последовательными точками описано в предыдущем пункте.

Движение вдоль поверхности дна подразумевает наличие как гидроакустических, так и визуальных данных, а также возможное наличие препятствий. Данный режим предполагает движение параллельно поверхности дна с заданными отстоянием и скоростью, и автоматическим обходом препятствий по оптимальной траектории. Обход препятствий осуществляется с приоритетом сохранения отстояния от дна.

В таком режиме регуляторы обеспечивают движение аппарата с заданной маршевой скоростью относительно грунта V_3 и с заданным отстоянием от дна h_3 , стабилизируя расчетный курс движения. Ошибка отстояния от дна h_0 рассчитывается как разница между заданным значением и средним измеренным значением. Диапазон допустимой ошибки задается оператором.

В нашем случае аппарат не имеет контуров управления углами крена и дифферента, следовательно, эти углы считаются нулевыми. Поэтому решаем задачу автоматического движения по траектории только вдоль вертикальной поверхности произвольной формы.

Данный режим позволяет двигаться по заданной траектории вдоль вертикальной поверхности произвольной формы с сохранением дистанции до оной. Для работы данного режима, так же как и для предыдущего, требуется наличие визуальных данных для работы системы счисления пути.

При такой схеме движения управляющая система Платформы ТНПА обеспечивает перемещение ТНПА от точки к точке с заданной скоростью по глубине (рис. 5), компенсирование бокового сноса, а также

стабилизирует перпендикулярность продольной строительной оси x аппарата по данным эхолота и ГКО.

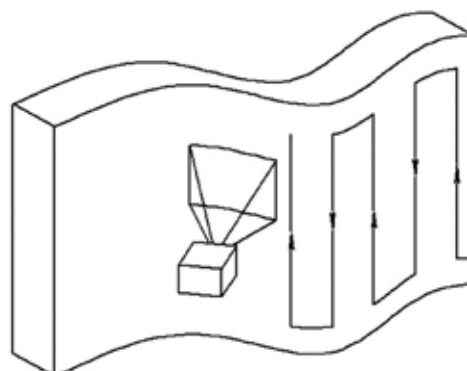


Рис. 5. Схема движения ТНПА

Обмен с модулем происходит на скорости 2 Мбит/с. Данные, полученные от модуля, используются в системе стабилизации курса управляющей системы ТНПА, а также по каналу передачи телеметрии поступают на береговую станцию, для отображения на мониторе оператора, а также для дальнейшей передачи в платформу ТНПА.

Программное сопряжение. Для обмена с модулем МТi-630 используется протокол XBus. Данный модуль содержит несколько интерфейсов связи: CAN, RS232, UART; CAN (Controller Area Network).

Сеть контроллеров (CAN-шина) – это надежный стандарт, предназначенный для обеспечения связи между устройствами в приложениях без главного компьютера. Интерфейс CAN МТi-600 не имеет согласующего резистора. Его можно использовать в шине CAN, которая уже имеет требуемую оконечную нагрузку. Если используется соединение с одним устройством, между выводами CAN_H и CAN_L необходимо добавить оконечный резистор 120 Ом.

– RS232 с управлением потоком RTS/CTS.

Интерфейс RS232 соответствует стандартным уровням напряжения RS232. Он включает аппаратное управление потоком через линии RTS и CTS.

– UART

Интерфейс UART можно использовать для прямого подключения к MCU с уровнями ввода-вывода 3,3 В. Пользователь может настроить модуль МТi серии 600 для связи через UART. Конфигурация кадра UART – 8 бит данных, без контроля четности и 1 стоповый бит (8N1). Протокол UART имеет только линии TX и RX без какого-либо управления потоком.

Для сопряжения с информационно-управляющей системой ТНПА использу-

ется интерфейс UART. Применение данного интерфейса обусловлено наличием свободных периферийных модулей бортового вычислителя ТНПА. По сравнению с RS-232 UART не требует использование преобразователей уровней сигналов, что позволило сохранить раннее отработанные схемотехнические решения. Также данный интерфейс является самым быстрым. В табл. 1 представлены диапазоны скоростей обмена модуля МТi-630.

Заключение

Проработаны интерфейсы платформы ТНПА с гидроакустическими и инерциальными сенсорами с учетом необходимой пропускной способности канала для обеспечения скоростей передачи данных [6]. Разработаны алгоритмы обработки и интерпретации данных принимаемых с гидроакустических и инерциальных сенсоров. Произведена интеграция сенсоров в информационно-управляющую систему ТНПА. Реализованы алгоритмы автоматического перемещения ТНПА из точки А в точку Б.

Кроме того, реализованы функции, позволяющие производить независимую настройку отдельных компонент системы.

Произведена разработка алгоритмов полуавтоматического и автоматического движения на базе систем счисления пути акустической навигационной системы. Алгоритмы обеспечивают автономное движе-

ние ТНПА между заданными точками с автоматическим обходом препятствий.

Для коммуникации между акустическими компонентами и платформой ТНПА в виде соответствующих наборов команд использован протокол Modbus, а также пользовательский интерфейс с графикой на мониторе.

Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2021-0011.

Список литературы

1. Conte G., Serrani A. Robust control of a remotely operated underwater vehicle. *Automatica*. 1998. Vol. 34. No. 2. P. 193–198.
2. Елкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я. Телеуправляемые подводные аппараты-роботы «ГНОМ» // Освоение морских глубин: сборник статей. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. С. 332–336.
3. Константян В.Н., Нахушев Р.С., Яхутлов У.М. Система инерциальной навигации комплекса симуляции полета // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2018. Т. 14. № 4. С. 97–103.
4. Козинев А.В., Северов С.П. Визуализация управляемого движения подводного робота // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ 2013): материалы XIII Международной научно-технической конференции. М.: АПР, 2013. Т. 1. С. 338–343.
5. Розман Б.Я., Елкин А.В. Конструкция подводного аппарата «СУПЕРГНОМ». М.: ООО «Издательство “Маджента”», 2018. С. 27–29.
6. Мокиевский В.О., Спиридонов В.А., Цетлин А.Б., Краснова Е.Д. Современные дистанционные методы в изучении морских донных сообществ и ландшафтов прибрежной зоны // Труды Беломорской биостанции МГУ. 2012. Т. 11. С. 3–6.

СТАТЬИ

УДК 547.99:54.3(547.2)(04)

**ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ГУМИНОВЫХ ПРЕКУРСОРОВ
ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ**

²Жаркынбаева Р.А., ¹Худайбергенова Э.М., ¹Ли С.П.

¹*Институт химии и фитотехнологий НАН КР, Бишкек, e-mail: h_elnura@mail.ru;*

²*Ошский государственный университет, Ош*

Недостаток железа в питании растений вызывает заболевание, называемое железодефицитным хлорозом, которое приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Для коррекции этого заболевания иногда используют растворы солей железа, которые при низких концентрациях малоэффективны, а при высоких – токсичны. В отдельных случаях применяют хелаты железа с различными синтетическими комплексонами. Однако последние обладают высокой реакционной способностью, образуют растворимые в воде соединения с другими металлами и радионуклидами, способствуя миграции их в окружающую среду, и вследствие этого вызывают экологические проблемы. В этой связи разработка новых безопасных и эффективных железосодержащих препаратов представляется важной и актуальной проблемой. Реальной альтернативой синтетическим комплексонам представляют гуминовые вещества (ГВ). Высокую реакционную и сорбционную способность этих веществ в реакциях комплексообразования и образования хелатных структур с железом обеспечивают основные структурные единицы, такие как ароматическое ядро и периферические функциональные группы. Многофункциональность, биологическая доступность и стабильность ГВ предопределяют высокую эффективность использования синтезированных на их основе препаратов. Особое значение придается способности гуминовых веществ стабилизировать высокодисперсные формы соединений железа. Включение наноразмерных частиц оксидов железа в состав гуминовых препаратов позволяет привить им такие свойства, как регулируемая при различных pH растворимость, варьирование заряда поверхности, магнитная активность, которые расширяют область их практического применения. В предопределении форм железа в рассматриваемых препаратах существенную роль играют органические компоненты. Гуминовые вещества представляют супрамолекулярные ансамбли однотипных по строению, но различающихся по структурным фрагментам и специфическим свойствам компонентов, которые могут быть представлены в нативных и модифицированных формах. Из их числа в настоящей работе для получения железосодержащих препаратов в качестве органических прекурсоров использованы гуминовые кислоты, фульвокислоты, оксигуминовые кислоты, гуминовые продукты микробиологической обработки органического сырья. Изучение состава и характеристических свойств гуминовых прекурсоров железосодержащих препаратов представляет актуальную задачу.

Ключевые слова: железо, железосодержащие препараты, гуминовые вещества, органические прекурсоры, наночастицы железа, характеристические свойства

**CHARACTERISTIC FEATURES OF HUMIC PRECURSORS
OF IRON-CONTAINING PREPARATIONS**

²Zharkynbaeva R.A., ¹Khudaybergenova E.M., ¹Li S.P.

¹*Institute of Chemistry and Phytotechnologies of NAS KR, Bishkek, e-mail: h_elnura@mail.ru;*

²*Osh State University, Osh*

A lack of iron in plant nutrition causes a disease called iron deficiency chlorosis, which leads to a decrease in crop yields. To correct this disease, solutions of iron salts are sometimes used, which are ineffective at low concentrations, and toxic at high concentrations. In some cases, iron chelates with various synthetic chelators are used. However, the latter are highly reactive, form water-soluble compounds with other metals and radionuclides, facilitating their migration into the environment, and as a result, cause environmental problems. In this regard, the development of new safe and effective iron-containing drugs is an important and urgent problem. Humic substances (HS) are a real alternative to synthetic complexones. The high reactivity and sorption capacity of these substances in the reactions of complexation and formation of chelate structures with iron is provided by the main structural units, such as the aromatic nucleus and peripheral functional groups. The versatility, bioavailability, and stability of HS predetermine the high efficiency of the use of preparations synthesized on their basis. Particular importance is attached to the ability of humic substances to stabilize highly dispersed forms of iron compounds. The inclusion of nanosized particles of iron oxides in the composition of humic preparations makes it possible to instill in them such properties as solubility controlled at various pH, variation in the surface charge, and magnetic activity, which expand the scope of their practical application. Organic components play a significant role in predetermining the forms of iron in the preparations under consideration. Humic substances are supramolecular ensembles of the same type in structure, but differing in structural fragments and specific properties of components that can be presented in native and modified forms. Of these, in this work, to obtain iron-containing preparations, the following were used: humic acids, fulvic acids, oxyhumic acids, humic products of microbiological processing of organic raw materials. The study of the composition and characteristic properties of humic precursors of iron-containing preparations is an urgent task.

Keywords: iron, iron-containing preparations, humic substances, organic precursors, iron nanoparticles, characteristic properties

Недостаток железа в питании вызывает заболевание растений, называемое железодефицитным хлорозом. Для коррекции этого заболевания используют растворы солей железа, которые при низких концентрациях малоэффективны, а при высоких – токсичны. В этих целях применяют также хелаты железа с различными синтетическими комплексонами. Однако последние, обладая высокой реакционной способностью, образуя растворимые в воде соединения с другими металлами и радионуклидами, способствуют миграции их в окружающую среду и вызывают экологические проблемы. В этой связи разработка новых безопасных и эффективных железосодержащих препаратов представляется важной и актуальной задачей. Реальную альтернативу синтетическим комплексонам представляют гуминовые вещества (ГВ) [1]. Железо может быть связано с гуминовыми веществами в виде комплексов, а также может присутствовать в составе гуминовых матриц в форме стабилизированных высокодисперсных гидратированных оксидов [2]. Высокую реакционную и сорбционную способность этим веществам обеспечивают основные структурные единицы, такие как ароматическое ядро и периферические функциональные группы. Эффективность использования синтезированных на основе ГВ препаратов предопределяют их многофункциональность, биологическая доступность и стабильность. Применение препаратов имеет особое преимущество, поскольку известно, что они снижают токсичность загрязняющих веществ и повышают устойчивость растений к химическому стрессу, стимулируют развитие корней и вызывают увеличение биомассы корней [3]. Гуминовые вещества представляют супрамолекулярные ансамбли, состоящие из однотипных по строению, но различающихся по структурным фрагментам и специфическим свойствам органических соединений, которые могут быть рассмотрены в нативных и модифицированных формах [4].

Цель исследования – изучение состава и характеристических свойств отдельных образцов гуминовых веществ с целью подбора органических прекурсоров для получения железосодержащих препаратов и предопределения формы железа в этих препаратах.

Материалы и методы исследования

В качестве органических прекурсоров для получения железосодержащих биологических препаратов были выбраны следующие гуминовые вещества: гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты (ФК), оксигуминовые кислоты (ОГК), гуминовые вещества продуктов анаэробной ферментации

органического сырья (ГВ_м). Методы получения ГК, ФК и ОГК описаны в работе [5], а ГВ_у – в [6].

Препараты подвергались элементному анализу на автоматическом анализаторе (Carlo Erba, Италия). Содержание функциональных групп определяли методами химического анализа, описанными в работе [5]. ИК-спектры поглощения снимали в диапазоне 400–4000 см⁻¹ на спектрометре LR-200 (Thermo Nicolet, USA) с использованием KBr. Спектры ¹³C ЯМР измеряли в растворах в среде 0.3 М NaOD/D₂O на спектрометре Bruker Aspect 3000 с наблюдаемой частотой 100 МГц с использованием пульсирующей программы CPMG. ¹H ЯМР спектры записаны на Bruker DMX 500 ЯМР – спектрометре при 303 К с использованием резонансной частоты, в которых магнитное поле (H₀) создается с помощью сверхпроводящего соленоида, работающего при температуре жидкого гелия, период релаксации 15 с.

Результаты исследования и их обсуждение

Гуминовые вещества не представлены индивидуальными химическими соединениями, поэтому элементный состав (углерод, водород, азот, кислород) является одним из их идентификационных признаков. Выражение элементного состава в массовых процентах не дает полного представления о роли отдельных элементов в построении молекул. Более информативное представление можно получить из соотношения содержания элементов в атомных процентах. Как показали результаты анализов (табл. 1), в ряду рассматриваемых прекурсоров наиболее высоким содержанием углерода обладают гуминовые кислоты. Наиболее низкое значение Н/С для ГК указывает на преобладание в структуре этих соединений ароматических фрагментов. Для характеристики гуминовых веществ используют также атомное отношение О/С, величина которого зависит от содержания кислородсодержащих функциональных групп в их составе. Значение О/С для ФК, ОГК и ГВ_м выше, чем для ГК, что свидетельствует о значительном вкладе периферических фрагментов в структуру этих образцов гуминовых веществ. В исследуемых образцах ГВ от 61,57% до 79,60% кислорода распределено между тремя типами функциональных групп: карбоксильными, фенольными, карбонильными (табл. 2). Доля кислорода, входящего в состав функциональных групп, выше для оксигуминовых кислот. Не все атомы кислорода, входящие в состав исследуемых препаратов, выявляются в указанных функциональных группах.

Таблица 1

Элементный состав гуминовых прекурсоров

Препараты	Влага, % w	Зола, % А	Элементный состав органической массы															
			Массовые проценты							Атомные проценты							Соотношения	
			C	H	N	S	O	C	H	N	S	O	H/C	O/C				
ГК	8,97	5,10	63,93	4,07	1,17	0,33	30,50	46,80	35,77	0,70	0,05	16,72	0,76	0,36				
ФК	7,80	4,40	60,30	4,20	4,80	0,28	30,47	44,55	37,12	0,60	0,07	17,70	0,83	0,39				
ОГК	9,80	3,16	61,62	4,27	1,02	0,30	32,76	44,31	37,62	0,51	0,08	17,56	0,85	0,40				
ГВ _м	10,2	7,90	62,18	4,40	0,82	0,22	32,80	38,10	36,01	5,25	0,08	20,64	0,95	0,54				

Таблица 2

Характеристика состава функциональных групп в гуминовых препаратах

Препарат	Содержание						Распределение кислорода между функциональными группами, %				Общее содержание кислорода ГП, %	Доля кислорода функц. групп в общем содержании кислорода, %	Доля кислорода, входящего в другие структурные фрагменты
	% от общего содержания кислорода в ГВ						Учтенный кислород, %						
	COOH	Ar-OH	C=O	COOH	Ar-OH	C=O	COOH	Ar-OH	C=O	C=O			
ГК	5,34	2,40	1,44	24,03	4,08	4,02	23,34	17,20	3,84	2,30	30,50	76,52	23,47
ФК	5,81	3,90	2,65	26,15	6,63	7,72	29,04	18,56	6,24	4,24	39,46	73,59	26,41
ОГК	6,52	4,00	2,96	28,83	6,94	8,28	32,08	20,83	6,52	4,73	40,30	79,60	20,70
ГВ _м	4,61	20,74	2,40	4,08	1,44	4,02	20,86	14,72	3,84	2,30	30,47	68,46	31,53

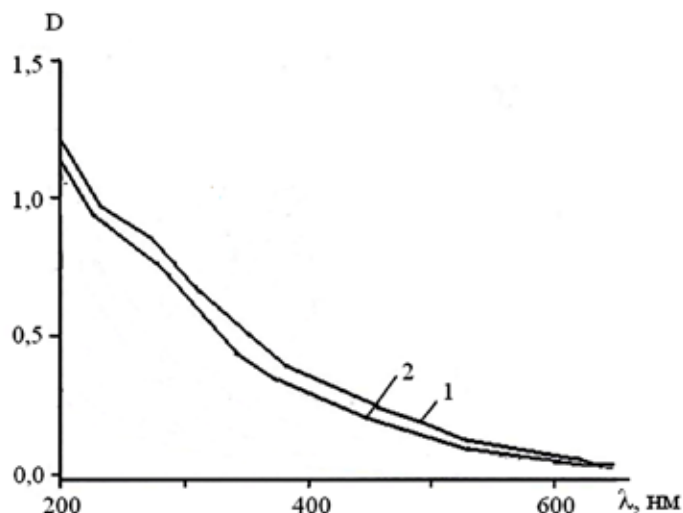


Рис. 1. УФ-видимые спектры гуминовых препаратов: ГК (1), ФК (2)

Оставшуюся часть кислорода следует отнести к структурным фрагментам ГВ, включающим эфирные, сложноэфирные, спиртовые, метоксильные и другие группы. Кроме того, в ядерной части молекулярного строения ГВ могут присутствовать хинонные группировки, а также кислородсодержащие гетероциклические структуры [7]. Наиболее высокое содержание кислорода, входящего в эту часть структурных фрагментов, наблюдается для ГВ_м. Значения рК ионизации для карбоксильных групп исследуемых препаратов варьируют в пределах от 4,49 до 5,61 и для фенольных групп – от 7,98 до 8,95. Благодаря разнообразию способов связывания в гумусовых веществах мономерных структурных единиц, различающихся по своей химической природе, протоногенные центры могут оказываться на участках, характеризующихся различным электронным строением и энергетической характеристикой. Большое значение при этом имеет сопряжение электронов кислорода функциональных групп с π -электронной системой ароматических структурных фрагментов макромолекул, которое вызывает снижение на кислороде эффективного отрицательного заряда и вследствие этого служит причиной их повышенной протоногенности [8].

В электронных спектрах всех исследуемых препаратов наблюдается понижение интенсивности поглощения с увеличением длины волны, что объясняется, как правило, присутствием в структуре подобных соединений хромофоров, которые поглощают во всей анализируемой области [9]. В некоторых из них проявляется плечо вблизи 275 нм (рис. 1).

Поглощение при 275 нм относят к $\pi - \pi^*$ электронному переносу в фенольных структурах, ароматических углеводородах с двумя и более кольцами, а также к конъюгированным ароматическим кольцам. Еще одним важным из диагностических критериев ГВ, которое не зависит от концентрации, определяется только структурой и соотносится со степенью конденсированности ароматических фрагментов, является коэффициент цветности E_4/E_6 . Коэффициент цветности E_4/E_6 определяют по отношению поглощения при 465 нм к таковому при 665 нм. В наших исследованиях пониженные значения соотношения E_4/E_6 равные 2,50 и 3,3 наблюдаются для ГК и ГК_м соответственно. ОГК и ФК характеризуются более высокими величинами соотношения E_4/E_6 (5,00 и 4,50), подтверждающими, что основная часть хромофоров в их структуре сконцентрирована в карбоксильных, карбонильных $C=O$ и ароматических $C=C$.

ИК-спектры исследуемых препаратов имеют характерный облик и предоставляют определенные сведения о природе структурных фрагментов, природе связей и общем мотиве построения [10]. В спектрах ГК (рис. 2, а) имеется широкая и интенсивная полоса в области $3450-3300 \text{ см}^{-1}$, относящаяся к гидроксильным OH и NH группам, образующим водородные связи. Характеристическая полоса с максимумом $1720-1700 \text{ см}^{-1}$ относится к $C=O$ карбоксильных альдегидов и кетонов. В области $1470-1370 \text{ см}^{-1}$ имеются несколько полос. Эти полосы обусловлены деформационными колебаниями $C-H$, $O-N$ и $C-O$ групп. Поглощение между 1250 см^{-1} и 1246 см^{-1} относится к вибрационным колебаниям $O-N$ и $C-O$ карбоксильных групп.

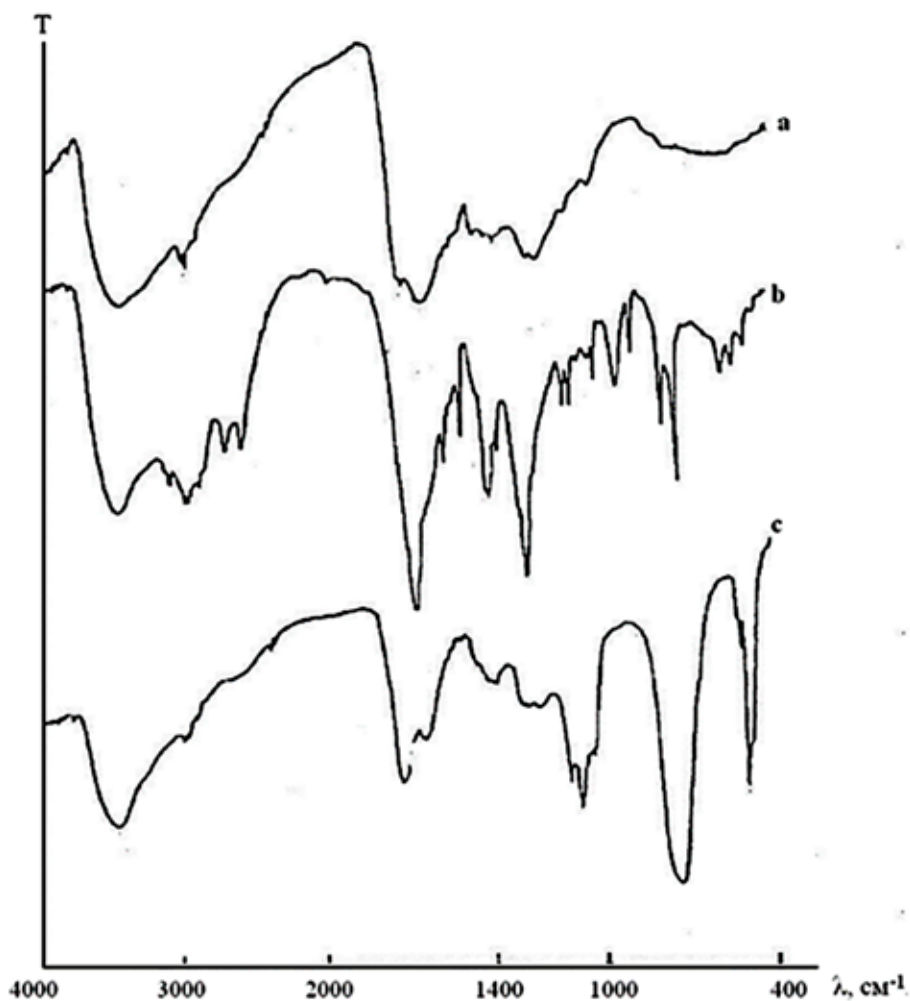


Рис. 2. ИК-спектры гуминовых кислот (а), фульвокислот (b) и оксигуминовых кислот (с)

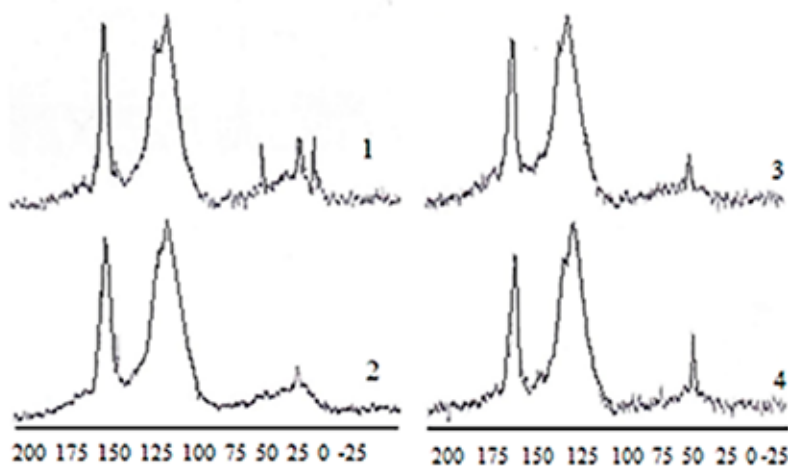


Рис. 3. ^{13}C ЯМР спектры препаратов: ГК(1), ФК (2), ГВ_м (3), ОГК(4)

Деформационные колебания спиртовых гидроксильных групп четко проявляются при 1150–1050 cm^{-1} . Имеются слабоинтенсивные по-

слы между 900–750 cm^{-1} , которые обычно относят к деформационным колебаниям C–H в ароматических структурах.

ИК-спектры ФК и ОГК (рис. 2, b, c) отличаются присутствием относительно четких и дискретных пиков при определенных длинах волн, что указывает на их более высокую молекулярную организацию по сравнению с другими гуминовыми веществами. В этих же спектрах содержатся интенсивные полосы поглощения в области проявления спиртовых гидроксидов и простых эфиров ($1130\text{--}1110\text{ см}^{-1}$). ФК и ОГК помимо того, что в значительной степени обогащены карбоксильными, фенольными и карбонильными группами, они содержат также хиноидные ($1640\text{--}1600\text{ см}^{-1}$), а также метоксильные ($1460\text{--}1450\text{ см}^{-1}$) группы. Значительный вклад карбонилсодержащих фрагментов (альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, эфиры) в структуру исследуемых гуминовых препаратов выражается интенсивной полосой при 1705 см^{-1} и 1430 см^{-1} . Эти полосы хорошо выражены в ИК-спектрах ОГК и ГК.

Отнесение сигналов в спектрах ЯМР гуминовых прекурсоров проводилось согласно данным, описанным в работе [11]. Как показали данные ^{13}C ЯМР-спектроскопии (рис. 3), в структуре всех рассматриваемых образцов четко просматриваются ароматические фрагменты. Выявлено усиление ароматических сигналов в ^{13}C ЯМР спектрах в следующем ряду: $\text{ОГК} > \text{ФК} > \text{ГК} > \text{ГВ}_m$. Наблюдаются различия в интенсивности сигналов, относящихся к алкил-замещенным и незамещенным ароматическим структурам. Содержание углерода в Ar-O, N в отдельных образцах препаратов варьирует в интервале 5,9–11,9%. Незамещенная аро-

матическая часть в структуре исследуемых препаратов характеризуется самым высоким содержанием углерода.

В ФК и ОГК наблюдается повышенное содержание кетонных и хинонных групп. Углерод C=O в ФК составляет 6,5%. Во всех других исследуемых образцах содержание этих групп ниже и углерод, входящий в их состав, находится на уровне 4,2–5,6%. В составе всех препаратов имеются карбоксильные и сложноэфирные группы. Доля $\text{C}_{\text{COOH-H}_R}$ составляет от 16,7% до 19,5% от общего содержания углерода (табл. 3).

Спектры ^1H ЯМР препаратов представлены на рис. 4.

Протоны гуминовых веществ подразделяют на два основных типа: подвижные протоны функциональных групп (COOH , $\text{C}_{\text{Ar}}\text{-OH}$ и $\text{C}_{\text{Alk}}\text{-OH}$), спиртовых (OH) фрагментов и протоны углеродного скелета, среди которых выделяют ароматические ($\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H}$), алифатические ($\text{C}_{\text{Alk}}\text{-H}$). Содержание ароматических протонов в исследованных препаратах различается незначительно и характеризуется высоким уровнем (от 49,6% до 56,5%). Однако следует заметить, что максимальное содержание H-замещенных ароматических фрагментов наблюдается для препарата ОГК, а для ГВ_m оно ниже, чем для других препаратов.

Различия наблюдаются для соотношения скелетных протонов $\text{C}_{\text{H}}/\text{N}_{\text{Alk}}$, которое максимально в случае ОГК (1,74), минимально для ГВ_m (1,34). Для других препаратов это соотношение находится в диапазоне между указанными величинами (табл. 4).

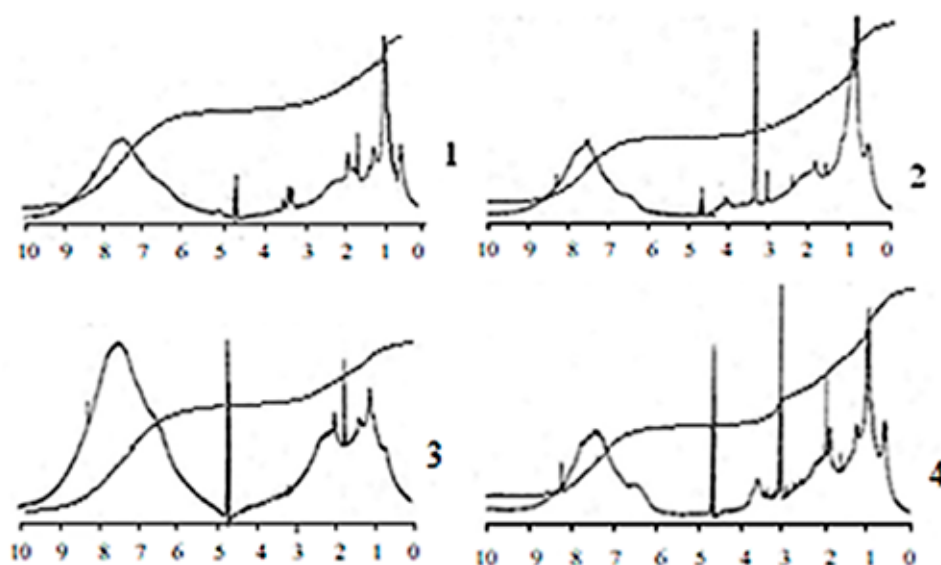


Рис. 4. ^1H ЯМР спектры препаратов: ГВ_m (1), ГК (2), ОГК (3), ФК (4)

Таблица 3

¹³C ЯМР спектральные интегралы для гуминовых препаратов

№	Образцы М. д.	C=O 220–187 М. д.	COO–H, R 187–165 М. д.	Ar–O, N 165–145 М. д.	Ar–H, C 145–108 М. д.	OC–O, N 108–90 М. д.	CH–O, N 90–64 М. д.	CH ₂ –O, N 64–58 М. д.	CH ₃ O 58–48 М. д.	CH–H, C 48–5 М. д.	ΣC _{Alk}	ΣC _{Ar}	ΣC _{Ar} / ΣC _{Alk}
1	ГК	5,6	18,8	11,9	50,2	1,8	0,5	0,4	1,1	8,1	11,9	60,0	5,04
2	ФК	6,5	19,2	11,6	52,1	1,9	0,4	0,2	0,7	7,0	10,2	63,7	6,24
3	ГВ _м	4,8	18,0	7,8	51,7	1,6	0,9	0,7	1,8	11,7	17,1	59,5	3,47
4	ОГК	5,1	19,5	9,2	51,9	1,8	0,5	0,4	1,3	7,0	11,0	64,4	5,85

Таблица 4

¹H ЯМР спектральные интегралы для гуминовых препаратов

№	Структурные фрагменты	Ароматический протон	O-CH-ON	CH-O,N	α-CH*	Alk-H	C _{Ar} H/N _{Alk}
	Интервал, м.д.	10,0–6,0	6,0–4,8	4,6–3,2	3,2–2,05	2,05–0,0	
1	ГК	54,2	1,5	1,7	8,9	33,6	1,61
2	ФК	52,0	1,8	2,2	8,9	35,1	1,48
3	ОГК	56,5	1,6	1,2	8,2	32,4	1,74
4	ГВ _м	49,6	1,9	1,6	9,8	37,0	1,31

*α-CH – протоны алифатических групп в α положении к электроотрицательным группам или ароматическому кольцу.

Данные ¹H ЯМР спектроскопии также показывают, что сигналы алкильных фрагментов изменяются в порядке, противоположном изменению ароматических C–H. При рассмотрении алифатической части структуры гуминовых препаратов обнаруживается, что для всех образцов и вне зависимости от соотношения C_{Ar} – H/N_{Alk} в области 3,2–2,05 м.д. выявляются от 8,2% до 9,8% алифатических протонов. Это указывает на общий принцип строения алифатической части ГВ, для которой характерно наличие CH-групп в α положении к электроотрицательным группам ароматического ядра. Все подвижные протоны функциональных групп проявляются в области 6,0–4,8 м.д. Такие протоны более выражено проявляются в ГК, ФК, ОГК. В других препаратах количество функциональных групп с подвижными протонами незначительно ниже.

Заключение

Рассмотренные гуминовые вещества имеют однотипное молекулярное строение, характеризуются присутствием в их структуре ароматических фрагментов разной

степени конденсированности. Наблюдаются различия в интенсивности сигналов, относящихся к алкил-замещенным и незамещенным ароматическим структурам. Содержат множество кислородсодержащих функциональных групп, прикрепленных к ароматическим или алифатическим фрагментам. В составе этих групп выявлены два основных типа подвижных протонов: а) протоны, принадлежащие функциональным группам (COOH, C_{Ar}-OH и C_{Alk}-OH) и спиртовым (OH) фрагментам; б) протоны углеродного скелета, среди которых выделяют ароматические (C_{Ar}-H), алифатические (C_{Alk}-H). Реакционная способность гуминовых веществ, предназначенных для использования в качестве прекурсоров железосодержащих препаратов, будет определяться их вышеуказанными характеристическими особенностями.

Список литературы

1. Соркина Т.Ф. Получение и применение биологически доступных соединений железа, стабилизированных гуминовыми веществами: дис. ...канд. хим. наук. Москва, 2014. 163 с.

2. Касымова Э.Дж., Джардималиева Г.И., Иржак В.И., Братская С.Ю., Жоробекова Ш.Ж., Кыдралиева К.А. Стабилизация наночастиц магнетита в среде гуминовых кислот и исследование их сорбционных свойств // Коллоидный журнал. 2020. Т. 82. № 1. С. 11–17.
3. Canellas L.P., Oliveras F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2014. № 1(3). P. 1–11.
4. Жоробекова Ш.Ж. Нековалентные комплексы гуминовых веществ. Бишкек: Илим, 2021. 268 с.
5. Ли С.П. Модифицированные гуминовые препараты детоксицирующего назначения. Бишкек: Илим, 2015. 213 с.
6. Серикова Л.В., Худайбергенова Э.М., Прохоренко В.А. Характеристические особенности гуминовых кислот, полученных при микробиологической обработке органического сырья в анаэробных условиях // Известия НАН КР. 2021. № 3. С. 20–29.
7. Sutton R., Sposito G. Molecular structure in Soil Humic Substances: The new view. *Environ. Sci. Technol.* 2005. Vol. 39. No. 23. P. 9009–9015. DOI: 10.1021/es050778q.
8. Жаркынбаева Р.А., Худайбергенова Э.М., Жоробекова Ш.Ж. Гидролиз железа и образование смешаннолигандных гумат-гидроксикомплексов в воде // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 7. С. 78–82.
9. Huang C.-C., Li Y.M., Yang H., Sun D.-Y., Xu L.-J., Chen X. Study of influencing factors to chromophoric dissolved organic matter absorption properties from fluorescence features in Taihu lake in autumn. *J. of Limnology*. 2013. Vol. 72. No. 2. P. e26. DOI: 10.4081/jlimnol.2013.e26.
10. Reddy S.B., Nagaraja M.S., Kadalli E.G. and Champa B.V. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy of Soil Humic and Fulvic acids Extracted from Paddy Land Use system. *Int. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2018. Vol. 7. No. 5. P. 834–837. DOI: 10.20546/ijemas.2018.705.102.
11. Thorn K.A., Folan D.W., MacCarthy P. Characterization of the International Humic Substances Society Standard and Reference Fulvic and Humic Acids by Solution state Carbon-13 (¹³C) and Hydrogen-1 (¹H) Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry. U.S. Geological Survey. Water – Resources Investigations. Report 89 – 4196. Denver, Colorado. 1989. 99 p.

УДК 544.582.3

ЭФФЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ 6-[¹⁸F]ФТОРНИКОТИН НИТРИЛ ОКСИДА ([¹⁸F]FNNO), РАДИОСИНТОНА ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ ФТОРА-18 В БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Орловская В.В., Федорова О.С., Красикова Р.Н.

ФГБУН Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой Российской академии наук, Санкт-Петербург, e-mail :orlovskaya@ihb.spb.ru

Разработан эффективный метод синтеза нового радиосинтона – 6-[¹⁸F]фторникотиннитрил оксида ([¹⁸F]FNNO), начиная с реакции нуклеофильного радиофторирования предшественника, N,N,N-триметил-5-(карбонил)пиридин-2-аммоний трифлата. Ввиду ионной природы этой аммонийной соли, ее раствор в смеси tBuOH/MeCN может быть использован в качестве элюента для выделения радиоактивного фтора-18, сорбированного на одноразовом анионообменном картридже. Данный подход дает возможность проведения ключевой стадии нуклеофильного радиофторирования предшественника в режиме онлайн непосредственно в процессе элюирования и не требует использования межфазных катализаторов. Образующийся 6-[¹⁸F]фторникотинальдегид без дополнительной очистки был конвертирован в соответствующий оксим реакцией с гидроксиламином гидрохлоридом с последующей конверсией в имидоилхлорид ([¹⁸F]FNImCl) при окислении иодогеном. Целевой радиосинтон, [¹⁸F]FNNO был получен *in situ* и может быть использован в реакции [3+2]циклоприсоединения для синтеза новых радиофармпрепаратов (РФП) для позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) на основе сложных биологически активных соединений. Проведение всех стадий синтеза в одном реакционном сосуде с высокой конверсией (95–99%) дает возможность автоматизации процесса в современных модулях синтеза РФП для ПЭТ – необходимого условия безопасной работы с высокоактивным фтором-18.

Ключевые слова: ПЭТ, фтор-18, радиофторирование, радиосинтон, радиофармпрепарат

EFFECTIVE SYNTHESIS OF 6-[¹⁸F]FLUORONICOTINE NITRILE OXIDE ([¹⁸F]FNNO), RADIOSYNTHONE FOR THE INTRODUCTION OF FLUORINE-18 INTO BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS

Orlovskaya V.V., Fedorova O.S., Krasikova R.N.

N.P. Bekhtereva Institute of the Human Brain of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, e-mail: orlovskaya@ihb.spb.ru

In this work, we developed an efficient method for the synthesis of a new radiosynthon, 6-[¹⁸F]fluoronicotinnitrile oxide ([¹⁸F]FNNO), starting from nucleophilic radiofluorination of the precursor, N,N,N-trimethyl-5-(carbonyl)pyridine-2-ammonium triflate. Due to the ionic nature of this ammonium salt, its solution in a tBuOH/MeCN mixture was used as an eluent for the isolation of radioactive fluorine-18 adsorbed on an anion exchange cartridge. This approach enables the key stage of nucleophilic radiofluorination in the on-line mode during the elution process and does not require the use of phase transfer catalysts. The resulting 6-[¹⁸F]fluoronicotinaldehyde was converted to the corresponding oxime by reaction with hydroxylamine hydrochloride, followed by conversion to imidoil chloride ([¹⁸F]FNImCl) by oxidation with iodogene. The target radiosynthon, [¹⁸F]FNNO, was obtained *in-situ* and can be used in the [3+2]cycloaddition reaction for the synthesis of new radiopharmaceuticals (RP) for positron emission tomography (PET) based on complex biologically active molecules. Carrying out all stages in one reaction vessel with high conversion (95-99%) makes it possible to automate the process in modern synthesis modules for PET radiopharmaceuticals – a prerequisite for safe work with highly radioactive fluorine-18.

Keywords: Positron Emission Tomography, PET, fluorine-18, radiofluorination, radiosynthon, radiopharmaceutical

Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) – наиболее информативный метод медицинской визуализации, основанный на использовании радиофармпрепаратов (РФП), содержащих в своем составе короткоживущие радиоактивные изотопы с позитронным типом распада (¹⁵O, ¹¹C, ¹³N, ¹⁸F) [1]. В настоящее время ПЭТ является незаменимым методом для диагностики различных типов опухолей, а также используется в кардиодиагностике, неврологии и при оценке эффективности терапии. Большинство клинически используемых РФП представляют собой простые молекулы (сахара, аминокислоты, нуклеотиды и др.) [2], меченные фтором-18 – наиболее широко ис-

пользуемым ПЭТ радионуклидом, что обусловлено его практически «идеальными» характеристиками. Малый пробег испускаемых позитронов в ткани (2,4 мм) обеспечивает максимальное пространственное разрешение ПЭТ изображения. Относительно большой период полураспада ¹⁸F (110 мин) совместим с длительными протоколами ПЭТ исследования. Кроме того, ввиду большого периода полураспада возможен сложный многостадийный синтез самых разных РФП, поставляемых на достаточно большие расстояния. Методы синтеза этих РФП, в основном предназначенных для онкодиагностики, разрабатывались в течение многих лет, что привело к созданию эффек-

тивных радиохимических технологий их производства в десятках клинических доз за один синтез в коммерчески доступных автоматизированных модулях синтеза [3]. Вместе с тем для расширения диагностических возможностей метода необходимы новые РФП на основе сложных биологически активных соединений. Синтез таких меченых соединений, как пептиды, протеины, биополимеры и др., невозможен с помощью классических радиохимических методов, основанных на прямом введении радионуклида реакцией нуклеофильного радифторирования, требующей жестких условий. Тенденцией последних лет является разработка методов так называемого «непрямого» введения метки фтор-18 в определенное положение сложных биологически активных молекул [4]. Это достигается процессами конъюгации радиоактивных синтонов (получение которых является первым этапом радиохимического синтеза) с целевой молекулой, протекающими в мягких условиях. Несмотря на достаточно большое количество уже известных радиосинтонов [4] разработка новых меченых фтором-18 молекул является активной областью исследований. Так, перспективными синтонами являются нитрилоксиды, которые по реакции [3+2]-циклоприсоединения к биомолекулам с двойной и тройной связью обеспечивают возможность получения целого ряда РФП [5]. Основной проблемой применения радиосинтонов на основе нитрилоксидов является сложный радиохимический синтез, плохо поддающийся автоматизации.

В данной работе нами был разработан эффективный метод синтеза нового радиосинтона – 6- ^{18}F -фторникотиннитрил оксида (^{18}F FNNO). Преимуществом разработанной нами методики является возможность проведения этого трехстадийного синтеза в одном реакторе, минуя промежуточные очистки и выделения, что существенно упрощает автоматизацию и сокращает время радиоактивного процесса. В свою очередь, использование предложенного метода позволит более широко использовать ^{18}F FNNO в последующем синтезе различных РФП.

Материалы и методы исследования

Исходное соединение N,N,N-триметил-5-(карбонил)пиридин-2-аммоний трифторметансульфонат (I) и стандарт для идентификации 6- ^{18}F -фторникотинальдегида были предоставлены Б.Д. Златопольским, Институт радиохимии и экспериментальной молекулярной визуализации, Германия. Безводный трет-бутанол и Iodo-Gen (1,3,4,6-тетрафлор-3 α ,6 α -дифенилглюкорил)

были приобретены в Sigma-Aldrich (США). Безводный не содержащий следов кислоты ацетонитрил (max 10 ppm H_2O) был приобретен в «Криохром» (Россия). Картриджи Chromafix 30PS- HCO_3 были приобретены в Macherey-Nagel (Германия) и использованы без кондиционирования.

Для аналитической ВЭЖХ использовали хроматограф Dionex ISC-5000 (США), снабженный градиентным насосом с возможностью смешения четырех элюентов, дозатором Rheodyne с петлей объемом 20 мкл, УФ-детектором (254 нм) и последовательно соединенным с ним детектором по радиоактивности Carrol and Ramsey Associates, CA, USA, model 105-S. Идентичность, радиохимическая и химическая чистота продуктов реакции были установлены при использовании следующих условий: ВЭЖХ колонка – X-Bridge C18, 150 \times 4,6 мм (Waters), элюент: смесь трифторуксусной кислоты (0,1 %) с ацетонитрилом, градиентное элюирование, скорость потока 2,0 мл/мин. Градиент: 0–8,0 мин линейное увеличение CH_3CN от 5 до 95 %; 8,0–11,0 мин 95 % CH_3CN ; 11,0–11,2 мин линейное уменьшение CH_3CN от 95 до 5 %; 11,2–15,0 мин 5 % CH_3CN . Времена удерживания R_f для 6- ^{18}F фторникотинальдегида (^{18}F FNA), ^{18}F фторникотиноксида (^{18}F FNO) и ^{18}F фторникотинимидоил хлорида (^{18}F FNImCl) составляли 2,9; 3,1 и 4,4 мин соответственно.

Анализ продуктов первой стадии процесса выполняли методом радиотонкослойной хроматографии (радио-ТСХ) с помощью радио-ТСХ сканера Scan-RAM (LabLogic, Sheffield, Великобритания) на пластинах с силикагелем 60 F254 («Сорбфил», «Ленхром», Россия), ТСХ элюент – этилацетат. R_f для ^{18}F фторида и ^{18}F FNA составили 0,05 и 0,55 соответственно.

^{18}F Фторид был получен ядерной реакцией $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ при облучении ^{18}O H₂O (97 % обогащения, «Глобальные научные технологии», Сосновый Бор, Россия) в серебряной водной мишени (1,4 мл) циклотрона PETtrace 4 с энергией протонов 16,4 MeV (GE Healthcare, Швеция). По окончании облучения облученная ^{18}O H₂O, содержащая ^{18}F Фторид, была доставлена током гелия из мишени в модуль синтеза, где радионуклид сорбировался на анионообменном картридже.

Результаты исследования и их обсуждение

Впервые меченное фтором-18 производное нитрилоксида, 4- ^{18}F фторнитрил оксид (4- ^{18}F FNNO), было предложено группой немецких ПЭТ-радиохимиков [5]. Данный подход был основан на многоста-

дийном синтезе, где в качестве исходного меченного фтором-18 соединения предлагался 4-[¹⁸F]фторбензальдегид (4-[¹⁸F]ФВА). Однако ввиду большого количества стадий, включая и промежуточные стадии очистки и выделения продуктов реакции, метод не был автоматизирован и не получил практического применения. Ввиду высоких уровней радиоактивности при работе с фтором-18 автоматизация синтеза является обязательным условием производства РФП. Идеальным для автоматизации вариантом является проведение всех стадий в одном сосуде – реакторе, без выделения продуктов реакции, что не всегда представляется возможным.

В цитируемой работе [5] 4-[¹⁸F]ФВА получали по традиционной методике, реакцией нуклеофильного радиофторирования предшественника с триметиламмоний трифлатом уходящей группой. Согласно стандартному протоколу для выделения фтора-18 из облученной воды-¹⁸O радионуклид сорбировали на анионообменной смоле (картридже) и элюировали раствором основания – K₂CO₃ и криптофикса (межфазного катализатора – МФК) в смеси MeCN-H₂O. Поскольку реакция нуклеофильного фторирования требует безводных условий, после удаления растворителей реакцию смесь подвергали азеотропной осушке, обеспечивающей удаление следов воды. Этот процесс сопровождается потерями радиоактивности не только за счет распада радионуклида (10–15 мин), но и в результате необратимых потерь на стенках реакционного сосуда. Необходимость азеотропной осушки увеличивает время синтеза и создает проблемы в автоматизации процесса. В связи с этим в последние годы огромные усилия направлены на создание методов, исключаящих эту стадию путем подбора различных МФК,

растворителей, типов анионообменной смолы и картриджа и др., с учетом конкретных условий и химической природы предшественника, участвующего на следующей стадии нуклеофильного фторирования.

В качестве исходного соединения для синтеза меченного фтором-18 нитрил оксида нами впервые был предложен 6-[¹⁸F]фторникотинальдегид ([¹⁸F]FNA), получаемый реакцией радиофторирования предшественника, *N,N,N*-триметил-5-(карбонил)пиридин-2-аммоний трифлата (**I**, рис. 1).

Для введения фтора-18 в молекулу **I** нами был использован так называемый «минималистический подход» [6], не требующий применения МФК и позволяющий элюировать сорбированный на одноразовом анионообменном картридже [¹⁸F]фторид раствором предшественника **I**. Благодаря структурным особенностям исходного **I**, где в *ortho*-положении находится азот, активирующий замещение уходящей триметиламмониевой группы, реакция радиофторирования может проводиться непосредственно на анионообменном картридже, в режиме онлайн в процессе элюирования. Метод радиофторирования на картридже впервые был предложен в 2016 г. [7] для синтеза, широко используемого радиосинтона, 2,3,5,6 – тетрафторфенил 6-[¹⁸F]фторникотината. Метод также применим и к синтезу радиофторникотинового бензальдегида [8]. В нашем случае высокая эффективность радиофторирования (радиохимическая конверсия – РКХ – 99%) в синтезе [¹⁸F]FNA (рис. 1, стадия 1) достигалась в процессе элюирования [¹⁸F]фторида, сорбированного на анионообменном картридже PS-HCO₃ (45 мг), раствором **I** в смеси *t*BuOH/MeCN. Высокая степень конверсии была подтверждена методом радиоТСХ (рис. 2).

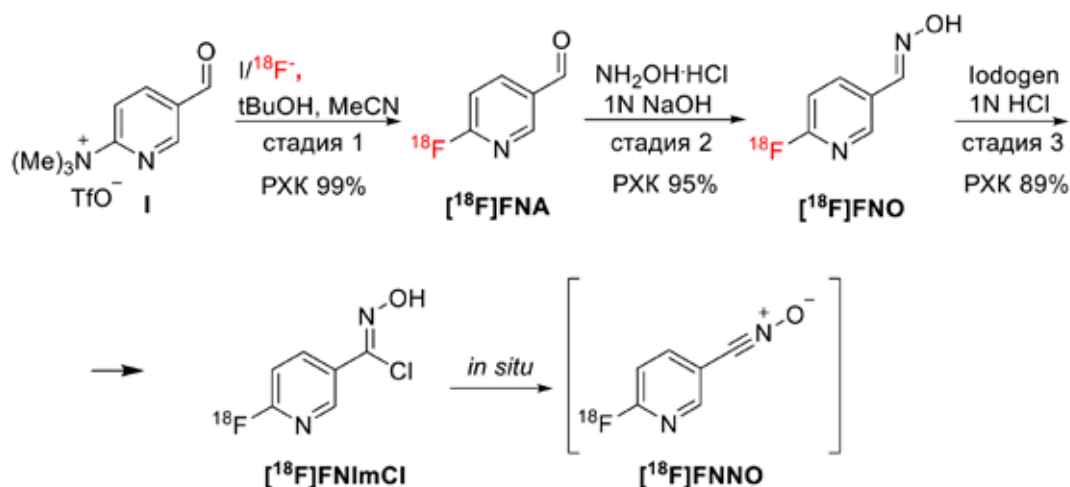


Рис. 1. Синтез радиоактивного синтона – 6-[¹⁸F]фторникотиннитрил оксида

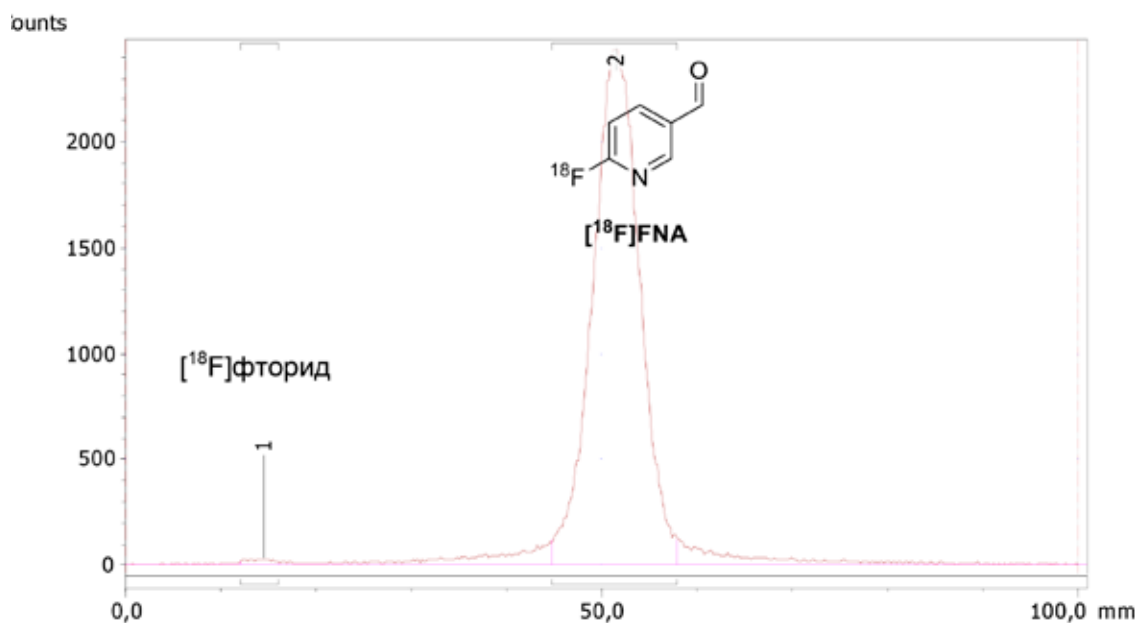


Рис. 2. РадиоТСХ анализ реакционной смеси на стадии радиофторирования (получение $[^{18}\text{F}]\text{FNA}$); элюент – этилацетат

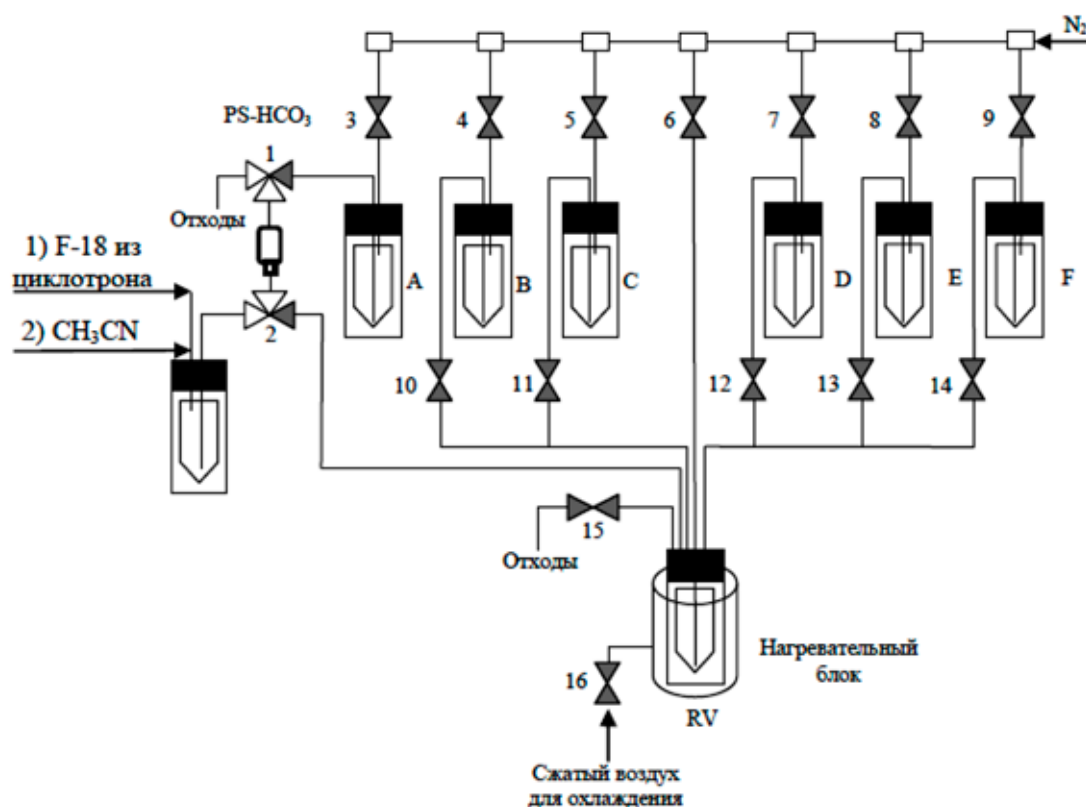


Рис. 3. Блок-схема дистанционно управляемого модуля.
 А: раствор предшественника (32 мкмоль) в $t\text{BuOH}/\text{MeCN}$ (0,2/0,8 мл);
 В: $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ (40 мкмоль) в MeOH (0,25 мл) и 1N NaOH (мкл);
 С: 1N HCl (15 мкл) in MeCN (0,2 мл); D: Iodo-gen (12 мкл) в MeCN (0,3 мл).

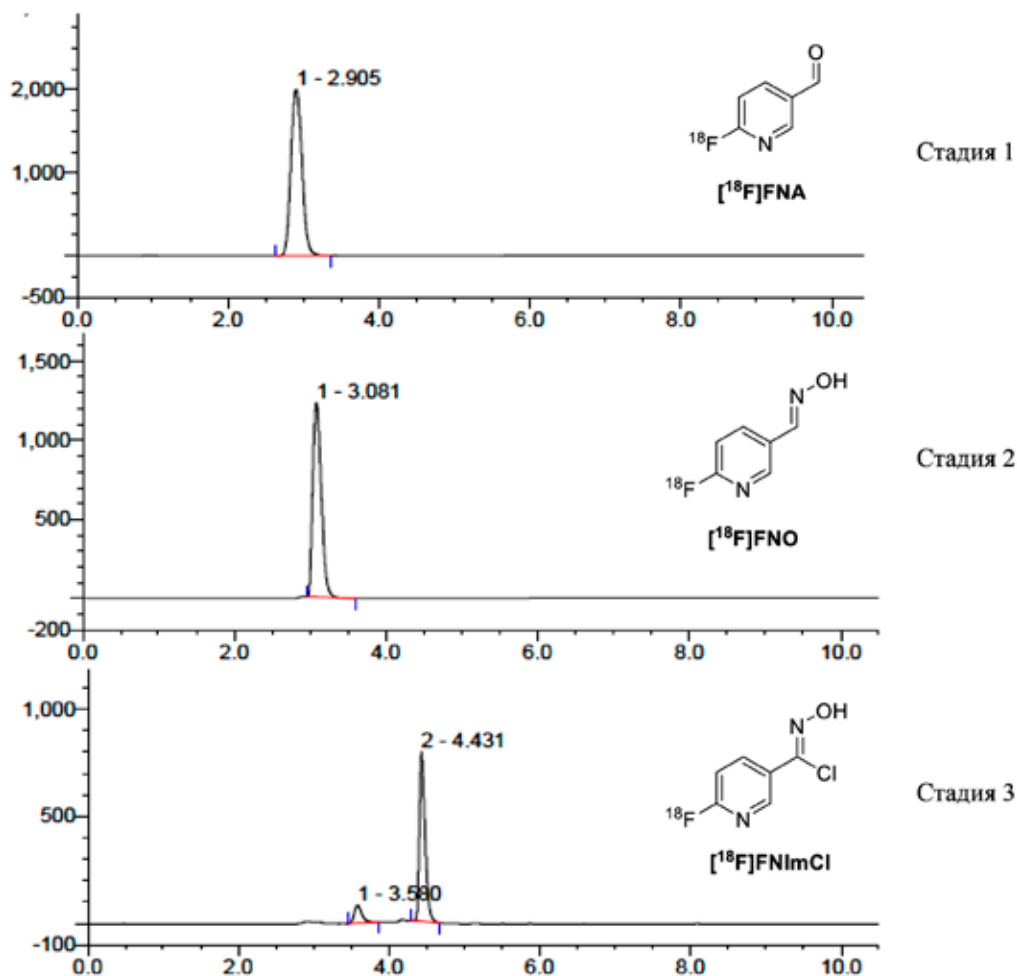


Рис. 4. РадиоВЭЖХ анализ реакционной смеси на первой, второй и третьей стадиях синтеза

Важно, что процессы сорбции $[^{18}\text{F}]$ фторида и элюирования $[^{18}\text{F}]$ FNA осуществлялись в противоположных направлениях, что обеспечивало дополнительное увеличение эффективности элюирования (ЕЕ) [9]. Критичным для данной стадии является то, что для достижения высокой ЕЕ продукта радиофторирования необходимо обеспечить медленный поток элюента через картридж регулировкой скорости подачи газа-носителя (азота). Синтез проводили на дистанционно управляемом модуле (рис. 3) собственной разработки; в этом случае ЕЕ составляла около 80%.

Следует отметить и роль анионообменного картриджа (тип смолы и ее количество; конструкция картриджа). Проведенное нами исследование показало, что в отличие от используемого нами картриджа PS- HCO_3 (45 мг), эффективность элюирования с применением «классических» картриджей QMA (46 мг или 130 мг) [3] не превышала 20%. Таким образом, использование пред-

ложенного нами никотинового альдегида **I** на первой стадии получения целевого нитриоксида позволило существенно упростить процедуру радиоактивного синтеза за счет возможности проведения элюирования предшественником **I**, а также проведению радиофторирования на картридже. Кроме того, при таком подходе нет необходимости в проведении длительной стадии азеотропной осушки.

Вторая стадия, конверсия $[^{18}\text{F}]$ FNA в соответствующий оксим $[^{18}\text{F}]$ FNO (рис. 1, стадия 2) реакцией с гидросиламин гидрохлоридом (40 °С, 10 мин), протекает в том же реакторе с РХК > 95%. Для проведения третьей стадии – получения радиофторированного имидохлорида $[^{18}\text{F}]$ FNImCl реакцией $[^{18}\text{F}]$ FNO с йодогеном (рис. 3, стадия 3) необходимо перед добавлением последнего нейтрализовать реакционную массу добавлением водного раствора соляной кислоты. Следует отметить, что обычно реакцию с йодогеном проводят в гетерогенных усло-

виях, для чего его наносят на стенки реакционного сосуда или используют специальные одноразовые сосуды (пробирки). Поскольку в автоматизированном one-pot синтезе РФП это невозможно, нами было впервые предложено использовать раствор йодогена в ацетонитриле. Это обеспечило образование $[^{18}\text{F}]\text{FNImCl}$ с высокой эффективностью (РХК 89%, 55 °С, 10 мин) и, что особенно важно, при проведении реакции в том же реакционном сосуде. Высокая степень конверсии на второй и третьей стадиях синтеза была подтверждена методом радиоВЭЖХ (рис. 4).

Полученный $[^{18}\text{F}]\text{FNImCl}$ в режиме *in situ* переходит в соответствующий искомый нитрилоксид, $[^{18}\text{F}]\text{FNNO}$. Это соединение невозможно выделить в чистом виде, оно используется непосредственно в дальнейшей реакции циклоприсоединения к алкенам и алкинам, открывая путь к новым методам получения РФП на основе сложных биологически активных молекул. Проведение реакции конъюгации с модельными пептидами и дипептидами является следующим этапом в продолжении данной работы.

Заключение

Таким образом, предложен эффективный метод синтеза нового перспективного радиосинтона – 6- $[^{18}\text{F}]$ фторникотиннитрил оксида для использования в синтезе РФП на основе сложных биологически активных молекул реакцией [3+2]циклоприсоединения. Разработанная методика позволяет провести все стадии радиоактивного синтеза в одном реакторе с высокой радиохимической конверсией, без промежуточного выделения продуктов реакции, что дает возможность ее адаптации к современным автоматизированным модулям синтеза РФП для ПЭТ. Преимуществом метода является его быстрота и простота за счет элими-

нирования стадии азеотропной осушки и проведения ключевой стадии радиофторирования в режиме онлайн на анионообменном картридже.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки, тема 0133-2019-0004 (ИМЧ РАН).

Список литературы

1. Медведев С.В., Скворцова Т.Ю., Красикова Р.Н. ПЭТ в России: позитронно-эмиссионная томография в клинике и физиологии. СПб.: Астрель-СПб, 2008, 319 с.
2. Coenen H.H., Elsinga P.H., Iwata R., Kilbourn M.R., Pillai M.R.A., Rajan M.G.N., Wagner H.N., Zaknun J.J. Fluorine-18 radiopharmaceuticals beyond $[^{18}\text{F}]\text{FDG}$ for use in oncology and neurosciences. *Nuclear Medicine and Biology*. 2010. Vol. 37. No. 7. P. 727–740.
3. Krasikova R. PET Radiochemistry Automation: State of the Art and Future Trends in ^{18}F -nucleophilic Fluorination. *Current Organic Chemistry*. 2013. Vol. 17. No. 19. P. 2097–2107.
4. Schirmacher R., Wängler B., Bailey J., Bernard-Gauthier V., Schirmacher E., Wängler C. Small Prosthetic Groups in ^{18}F -Radiochemistry: Useful Auxiliaries for the Design of ^{18}F -PET Tracers. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2017. Vol. 47. No. 5. P. 474–492.
5. Zlatopolskiy B.D., Kandler F.R., Mottaghy F.M., Neumaier B. C-(4- $[^{18}\text{F}]$ fluorophenyl)-N-phenyl nitrene: A novel ^{18}F -labeled building block for metal free [3+2]cycloaddition. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012. Vol. 70. No. 1. P. 184–192.
6. Richarz R., Krapf P., Zarrad F., Urusova E.A., Neumaier B., Zlatopolskiy B.D. Neither azeotropic drying, nor base nor other additives: a minimalist approach to ^{18}F -labeling. *Organic & Biomolecular Chemistry*. 2014. Vol. 12. No. 40. P. 8094–8099.
7. Basuli F., Zhang X., Jagoda E.M., Choyke P.L., Swenson R.R. Facile room temperature synthesis of fluorine-18 labeled fluoronicotinic acid-2,3,5,6-tetrafluorophenyl ester without azeotropic drying of fluorine-18. *Nuclear Medicine and Biology*. 2016. Vol. 43. No. 12. P. 770–772.
8. Basuli F., Zhang X., Jagoda E.M., Choyke P.L., Swenson R.E. Rapid synthesis of maleimide functionalized fluorine-18 labeled prosthetic group using “radio-fluorination on the Sep-Pak” method. *Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals*. 2018. Vol. 61. No. 8. P. 599–605.
9. Zischler J., Kolks N., Modemann D., Neumaier B., Zlatopolskiy B.D. Alcohol-Enhanced Cu-Mediated Radiofluorination. *Chemistry – a European journal*. 2017. Vol. 23. No. 14. P. 3251–3256.

СТАТЬЯ

УДК 622.02(075.8)

**СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ГОРНЫХ ПОРОД
В СВЧ-ПОЛЯХ****Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Белекова Ж.Ш.***Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек,
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru, jyldyza.88@mail.ru*

Предварительное разупрочнение крепких горных пород (до измельчения) под воздействием физических полей составляет важную часть в технологической цепочке извлечения металлов и полезных компонент. Влияние физических полей на горные породы приводит к изменению их механических свойств, формированию структурных изменений на границах и внутри зерен, нарушению структурных связей руд и минералов. Наиболее эффективным видом энергии для изменения прочности горных пород из всех применяемых видов энергии считается энергия сверхвысокочастотного электромагнитного поля. Энергия СВЧ-поля существенно изменяет структурное состояние и прочностные характеристики горных пород. В этой статье приведены результаты изменения структурного состояния мрамора под воздействием сверхвысокочастотного поля. Получены результаты с помощью светового микроскопа марки Axio Imager и для количественной оценки зерен была использована программа ImageJ. После обработки результатов программой ImageJ гистограмма значений показала следующие результаты. Количество зерен после облучения изменяется неоднозначно, для 1 мин и 5 мин воздействия СВЧ-волн приводит к уменьшению зерен мрамора, а для 3 мин и 7 мин, наоборот, увеличивается плотность дислокаций на границе зерен. Выявлено, что СВЧ-облучение существенно влияет на механические параметры и тип диаграммы деформирования горных пород. Плотность дислокации на границе блока изменяется неоднозначно, СВЧ-облучение горных пород приводит к структурным изменениям в зависимости от минералов. Структурные изменения приводят к уменьшению упругих характеристик, в том числе прочности зерен мрамора при СВЧ-воздействии.

Ключевые слова: горная порода, СВЧ-поля, время облучения, температура нагрева, размер зерен, структурные изменения, плотность дислокаций, количественный анализ зерен, упругие характеристики

**STRUCTURAL ANALYSIS OF ROCK MINERAL GRAINS
IN SUPERHIGH-FREQUENCY FIELDS****Sultanalieva R.M., Konushbaeva A.T., Belekova Zh.Sh.***Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek,
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru, jyldyza.88@mail.ru*

Preliminary softening of strong rocks (before grinding) under the influence of physical fields is an important part in the technological chain of extraction of metals and useful components. The influence of physical fields on rocks leads to a change in their mechanical properties, the formation and change of structural changes at the boundaries and inside the grains, and the disruption of the structural bonds of ores and minerals. The most effective type of energy for changing the strength of rocks, of all the types of energy used, is considered to be the energy of a microwave electromagnetic field. The energy of the microwave field significantly changes the structural state and strength characteristics of rocks. This article presents the results of the change in the structural state of marble under the influence of a microwave field. The results were obtained using an Axio Imager light microscope and the ImageJ program was used to quantify the grains. After processing the results with the Image G program, the histogram of values showed the following results: The number of grains after irradiation changes ambiguously, for 1-minute and 5-minute exposure to microwave waves leads to a decrease in marble grains, and for 3 minutes and 7-minute, on the contrary, it increases density of dislocations at the grain boundary. It was revealed that microwave irradiation significantly affects the mechanical parameters and the type of rock deformation diagram. The dislocation density at the block boundary changes ambiguously; microwave irradiation of rocks leads to structural changes depending on the minerals. Structural changes lead to a decrease in elastic characteristics, including the strength of marble grains under microwave exposure.

Keywords: rock, microwave fields, irradiation time, heating temperature, grain size, structural changes, dislocation density, quantitative analysis of grains, elastic characteristics

В процессе извлечения полезных компонентов из крепких руд и минералов, для изменения механических свойств пород под воздействием физических полей, используются закономерности и механизмы процессов преобразования структурного состояния горных пород. При выборе рационального вида и режима физических полей для обработки минерального сырья необходимо знание этих закономерностей, позволяющих обеспечивать экономическую

выгоду, эффективность и экологическую чистоту производства. Не полностью раскрывается механизм изменения свойств горных пород, происходящего под воздействием внешних полей, когда рассматриваем их как традиционные физические процессы. Только новые подходы, учитывающие разнородность горных пород, понимание механизма и причин структурных преобразований, позволяют обеспечить существенное уменьшение энергоемкости процесса из-

мельчения. Характер изменения горных пород под воздействием физических полей зависит от различных факторов: минералогического состава и структуры пород, а также из вида воздействия физических полей. Для того чтобы получить необходимую информацию об изменениях структурного состояния происшедших на всех уровнях после воздействия физических полей, необходимо понимать, что произошло с горной породой. Структурное состояние горной породы используется для более полной характеристики состояния полиминеральных руд и минералов. Дефектность и напряженное состояние ее структурных элементов в целом можно понимать как структурное состояние горных пород [1, 2].

Структурные состояния горных пород в целом изменяются под воздействием физических полей. Под воздействием электромагнитного поля сверхвысоких частот рудосодержащие минералы нагреваются, а пустая порода вначале остается холодной. В связи с этим на границах раздела фаз возникают сильные термомеханические напряжения, приводящие к образованию новых микротрещин, и формируются остаточные напряжения, которые обуславливают изменение структурного состояния породы. Эти процессы приводят к уменьшению прочности пород в несколько раз [3, 4].

Цель исследования – оценка влияния воздействия полей СВЧ на структурные изменения минеральных зерен горных пород.

Материалы и методы исследования

В этой работе приведены результаты изменений структурного состояния горной породы под воздействием СВЧ-поля при определенном оптимальном времени. Для изучения изменений параметров структурного состояния использовались образцы из мрамора, отобранного из месторождения Токтозан, представляющие исходные состояния, т.е. до облучения и после СВЧ-облучения.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены из мрамора 6 образцов, и для каждого образца в исходном состоянии производилась съемка с помощью светового микроскопа марки Axio Imager.

Затем каждый из образцов по отдельности помещался в СВЧ-печь и подвергался нагреву от 1 до 7 мин. Для образцов мрамора после воздействия СВЧ-поля также производилась съемка с помощью микроскопа. Этапы выявления границ зерен при наших экспериментальных данных проводились следующим образом: шлифование, полирование. Шлифование проводилось на алмазных чашках. Полировка производилась на алмазных черепашках зернистостью № 30 (далее шлифовальный круг меняется на № 50, 100, 200, 400, 600, 800). Для количественной оценки зерен была использована программа ImageJ, программа ImageJ предоставлена на сайте <http://rsb.info.nih.gov/ij/> [5]. Данная программа представляет собой независимый дистрибутив, написанный на языке JAVA и предназначенный для обработки, преобразований и широкого спектра аналитических процедур над цифровыми изображениями [6].

На рис. 1 представлена последовательность работы программы ImageJ, в главном окне приводится файл Open. Рабочий язык программы на английском языке.

Результаты исследования и их обсуждение

Для всех цифровых изображений образцов мрамора (в исходном и после воздействия СВЧ-поля) были определены площади границ зерен и гистограмма изображений.

На рис. 2, а, отображена структура мрамора в исходном состоянии, до облучения. Параметры измерения были заданы в микрометрах с помощью команды Analyze > Set Scale.

Команда Threshold используется для фиксирования границ зерен, выделяемые границы окрашиваются в красный цвет. Используя данную команду, можно автоматически или интерактивно настроить верхние и нижние значения порога для сегментирования области интерфейса и заднего фона изображения. На цифровых изображениях образцов горных пород при заданном значении границы выделяются красным цветом, а задний фон останется серым.

Затем, с помощью команды Analyze Particles, находится площадь объектов.

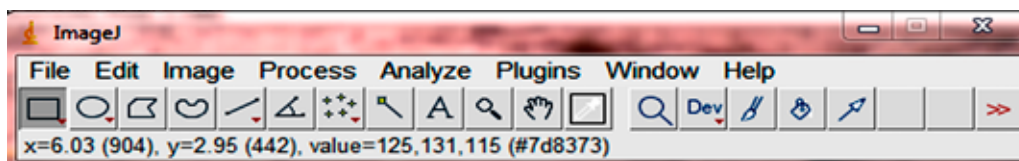
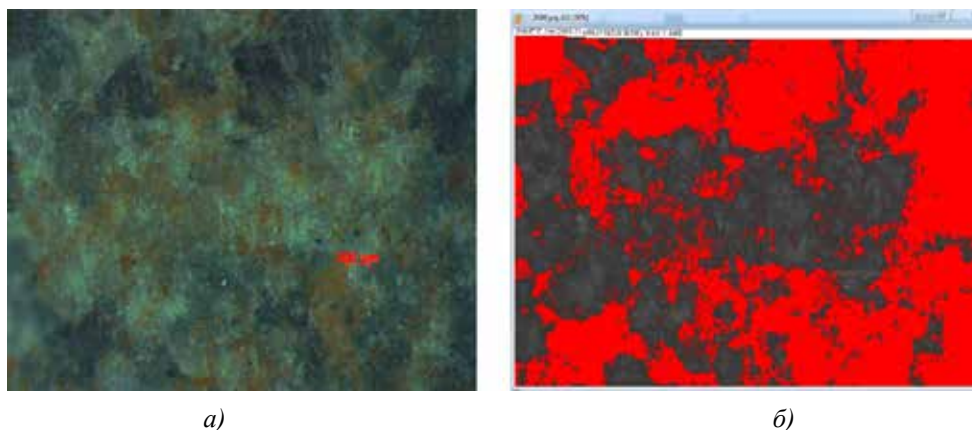


Рис. 1. Интерфейс программы ImageJ



а)

б)

Рис. 2. а) исходная структура мрамора; б) работа команды Threshold

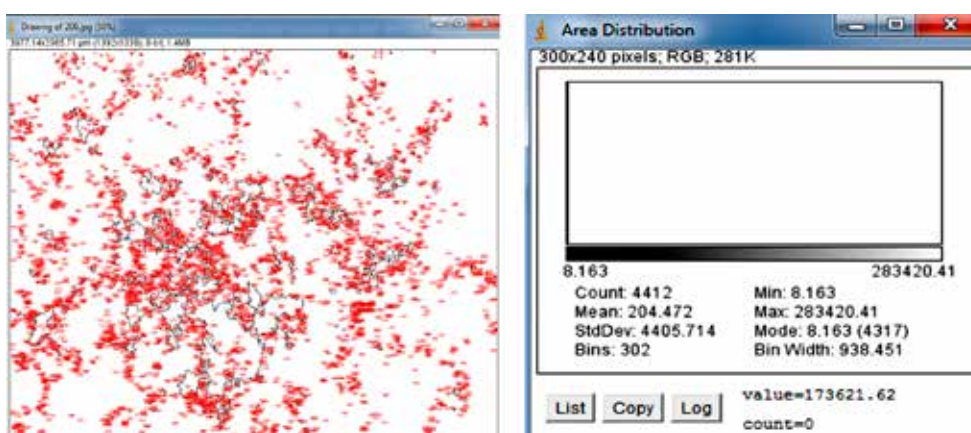


Рис. 3. Результат площадей границ зерен и гистограмма изображения

На следующем окне показан подсчет значений и общая площадь объектов. Для определения размеров исследуемых объектов используется поле Size. Если размеры цифровых изображений образцов или выделенные объекты на изображениях будут больше указанных, то они учитываются [5, 6]. На исходном образце (до облучения) подсчитаны все границы и показаны на рис. 3.

Площадь выделения на рисунке приведена как Area Distribution (если его нет, то всего изображения), подсчитывается в квадратных пикселях. Гистограмма изображения для исходного состояния образца показывает, что всего 4412 значений: 8,163 мкм – минимальный размер зерен, 283420,41 мкм – максимальный размер зерен.

Гистограмма цифрового изображения образца мрамора после воздействия СВЧ-поля за 1 мин показывает, что всего 1298 значений: из них 8,163 мкм – минимальный размер зерен; 36987,754 мкм – максимальный размер зерен.

Под воздействием СВЧ-поля, где время облучения составляет 3 мин, в гистограмме изображения всего 2190 значений: 8,1632656 мкм – минимальный размер зерен; 143020416 мкм – максимальный размер зерен.

В гистограмме изображения, где время облучения составляет 5 мин, всего 1091 значения: 8,163 мкм – минимальный размер зерен; 73240,812 мкм – максимальный размер зерен.

В гистограмме изображения, где время облучения составляет 7 мин, всего 1520 значений: 8,163 мкм – минимальный размер зерен; 52187,754 мкм – максимальный размер зерен.

На основе структурного анализа, полученного с помощью программы Image J для образцов мрамора, до и после СВЧ-облучения, были определены средние размеры блоков мозаики D , величины дислокации на границе блока мозаики ρ_D .

Как видно из таблицы, СВЧ-облучение в продолжительности 3 мин влияет также на деформационные характеристики горных пород, для мрамора (Новороссийск) происходит значительное уменьшение модуля упругости [7].

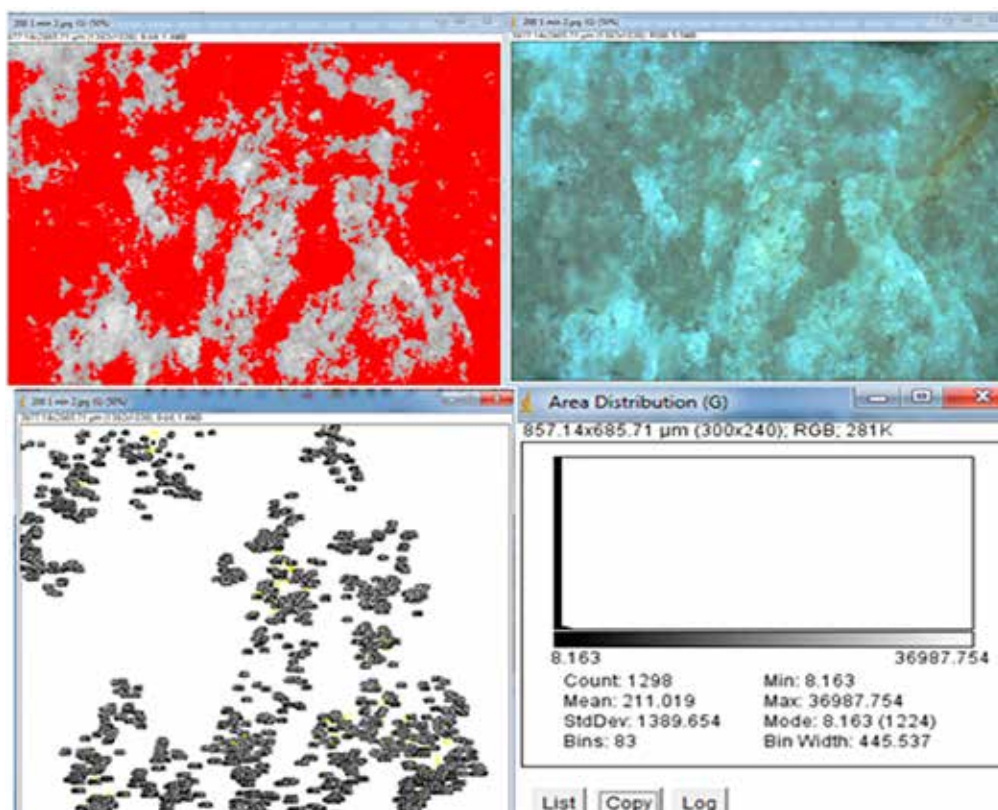


Рис. 4. Структура образца мрамора (время облучения 1 мин) после обработки на ImageJ

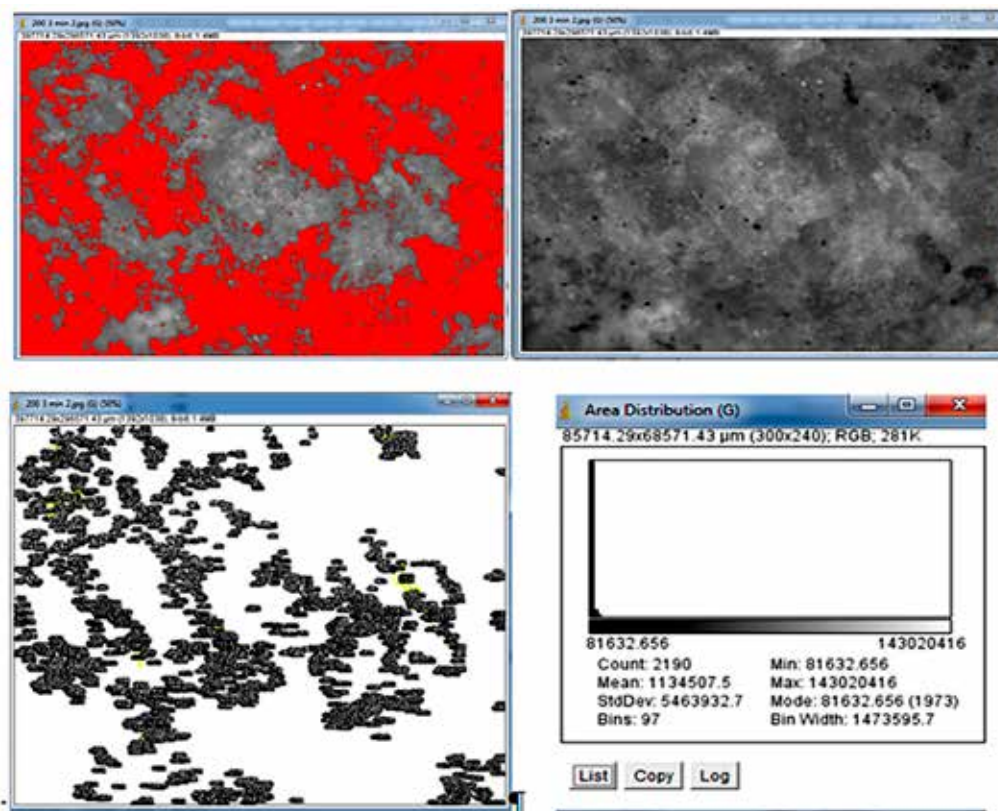


Рис. 5. Структура образца мрамора (время облучения 3 мин) после обработки на ImageJ

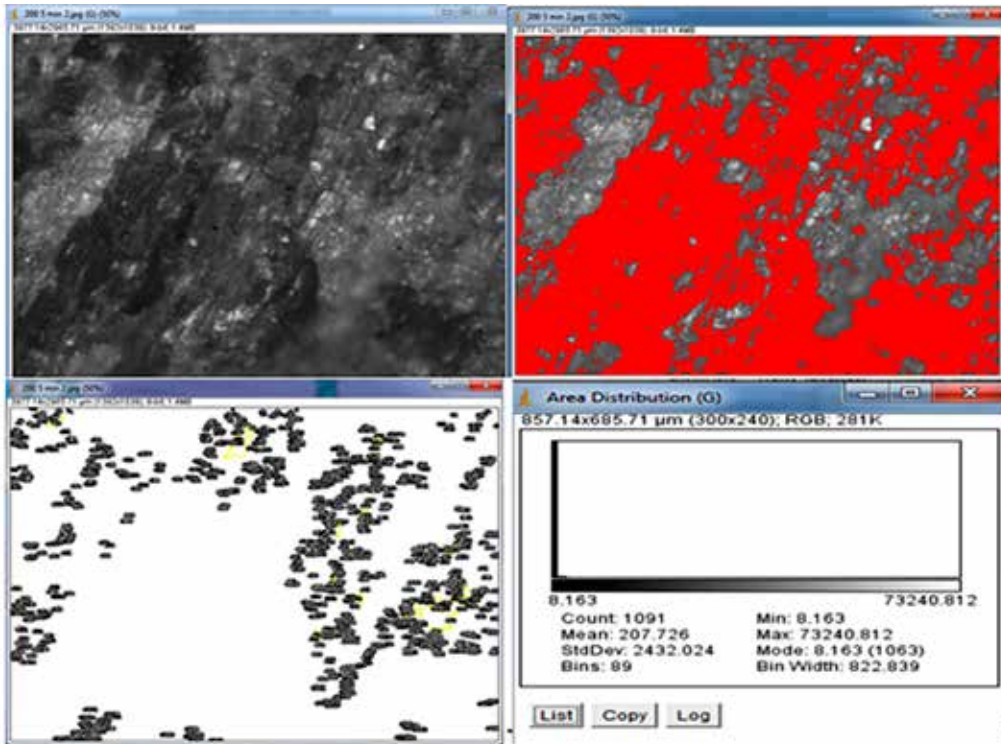


Рис. 6. Структура образца мрамора (время облучения 5 мин) после обработки на ImageJ

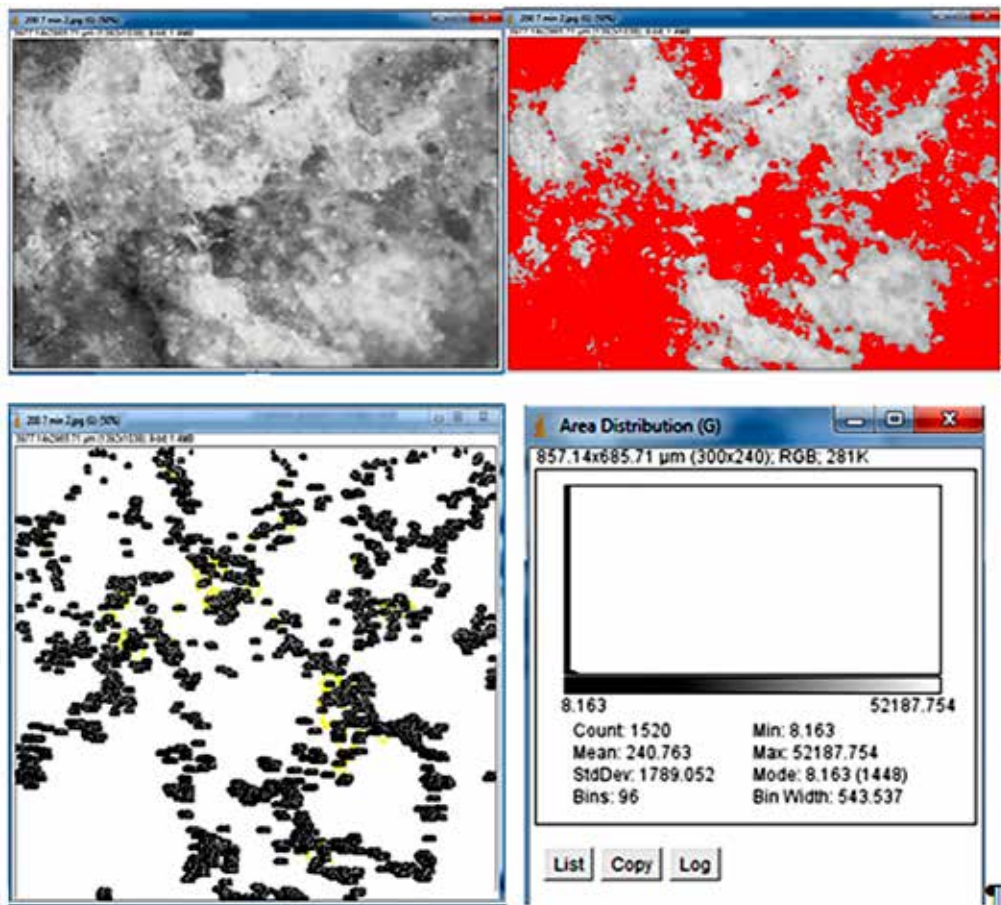


Рис. 7. Структура образца мрамора (время облучения 7 мин) после обработки на ImageJ

Деформационные характеристики и параметры структуры горных пород

Название породы	Состояние породы	Номер образца	Модуль упругости, E , МПа	Коэффициент Пуассона, μ	Плотность дислокаций, $\rho_D \cdot 10^{-10}$, см ²
Мрамор (Новороссийск)	исходное	1	0,76	0,18	9,4
	после облучения	3	0,3	0,40	29

Выводы

На основе результатов исследовательского структурного анализа исследуемых образцов мрамора можно сделать следующие выводы:

1. Поле сверхвысоких частот влияет на механические характеристики и на диаграмму деформирования образцов исследуемой горной породы. Воздействие СВЧ-облучения приводит к структурным изменениям в горных породах в зависимости от минералов, а это приводит к неоднозначному изменению плотности дислокации на границе блока.

2. После обработки результатов программой ImageJ гистограмма значений показала следующие результаты: количество зерен после облучения изменяется неоднозначно, для 1 мин и 5 мин воздействия СВЧ-волн приводит к уменьшению зерен мрамора, а для 3 мин и 7 мин, наоборот, увеличивается плотность дислокаций на границе зерен.

3. Изменение плотности дислокаций во время воздействия СВЧ-волн приводит к упругим искажениям кристаллической решетки горных пород и создает многочисленные препятствия к перемещению дислокаций. Структурные изменения при-

водят к уменьшению упругих характеристик, в том числе прочности зерен мрамора при СВЧ-воздействии.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными, ранее полученными другими методами.

Список литературы

1. Зильбершмидт М.Т. Механизм изменения структурного состояния горных пород при внешнем воздействии // Физические процессы в горных породах: материалы Всесоюзной конференции. М., 1984.
2. Султаналиева Р.М. Принципы целенаправленного изменения механических свойств руд и минералов: монография. Бишкек, 2014. С. 153.
3. Петров В.М. Новые применения радиоэлектроники: разупрочнение горных пород мощным электромагнитным полем СВЧ. М.: Информост, 2014. С. 35–41.
4. Абкин Е.Б., Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Измельчение руд с применением электромагнитной энергии СВЧ // Обогащение руд. 2016. № 9. С. 2–5.
5. Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. М.: Техносфера, 2016. С. 304.
6. Анисович А.Г., Басалай А.В. Оценка ошибок оператора при количественном анализе структуры компьютерными методами // Литье и металлургия. № 4 (68). 2012. С. 145–150.
7. Соловьев В.И. Взаимодействие мощных СВЧ-полей с рудными породами различного состава // Обогащение руд. 2016. № 2. С.13–14.

УДК 553.81

**ЖИЗНЬ, ПОСВЯЩЕННАЯ АЛМАЗАМ
(К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ГАЛИНЫ ПЕТРОВНЫ КУДРЯВЦЕВОЙ)**

Копчиков М.Б., Бовкун А.В.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва,
e-mail: kopchikov@geol.msu.ru*

Статья посвящена жизни и научным достижениям Галины Петровны Кудрявцевой (1947–2006) – минералога, доктора геолого-минералогических наук, одного из ведущих отечественных специалистов в области геологии алмазных месторождений, минералогии алмаза, кимберлитов, лампроитов и других щелочно-ультраосновных пород. В 1982 г. по инициативе Г.П. Кудрявцевой на геологическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова основана Лаборатория месторождений алмаза, ставшая известнейшей кузницей профессиональных кадров по изучению алмазов и алмазных месторождений. Сотрудниками лаборатории выполнены обширные минералогические исследования комплекса щелочно-ультраосновных пород Архангельской алмазоносной провинции. Г.П. Кудрявцева руководила работами по подсчету запасов алмазов на месторождениях им. М.В. Ломоносова и В. Гриба. Галина Петровна Кудрявцева – автор и соавтор более 500 научных трудов, соавтор 15 свидетельств на изобретения и патенты, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, научный руководитель 12 успешно защищенных кандидатских диссертаций. Научная и общественная деятельность Г.П. Кудрявцевой получила широкое признание в России и за рубежом. Память о выдающемся минералоге, талантливом педагоге и замечательном человеке навсегда сохранится в сердцах коллег, учеников и друзей.

Ключевые слова: Г.П. Кудрявцева, алмаз, лаборатория месторождений алмаза, минералогия и петрология кимберлитов, минералы – спутники алмаза, месторождения алмаза и их генезис, Архангельская алмазоносная провинция, трубка им. Гриба, месторождение им. Ломоносова, кудрявцевит, лампроиты и родственные им породы, кимберлитовая трубка «Галина», ферримангнитные минералы, их свойства и классификация

**LIFE, DEDICATED TO DIAMONDS (TO THE 75TH ANNIVERSARY
OF THE BIRTHDAY OF GALINA PETROVNA KUDRYAVTSEVA)**

Kopchikov M.B., Bovkun A.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: kopchikov@geol.msu.ru

The article is devoted to the life and scientific achievements of Galina Petrovna Kudryavtseva (1947-2006) – mineralogist, Doctor of geological and mineralogical Sciences, one of the leading Russian experts in the field of geology of diamond deposits, diamond mineralogy, kimberlites, lamproites and other alkaline-ultrabasic rocks. In 1982, on the behalf of G. Kudryavtseva, the Laboratory of Diamond Deposits was founded at the Geological Faculty of Lomonosov Moscow State University, which has become the most famous provider of scientists of diamonds and diamond deposits. The laboratory staff performed extensive mineralogical studies of the complex of alkaline-ultrabasic rocks of the Arkhangelsk diamond-bearing province. G.P. Kudryavtseva supervised the work on the calculation of diamond reserves at the fields named after M.V. Lomonosov and V. Grib. Galina Petrovna Kudryavtseva is the author and co-author of more than 500 scientific papers, co-author of 15 certificates for inventions and patents, the laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, the supervisor of 12 successfully defended PhD theses. The scientific and social achievements of G. Kudryavtseva have been widely recognized in Russia and abroad. The memory of an outstanding mineralogist, a talented teacher and a wonderful person will forever remain in the hearts of colleagues, students and friends.

Keywords: G.P. Kudryavtseva, diamond, laboratory of diamond deposits, mineralogy and petrology of kimberlites, satellite minerals of diamond, diamond deposits and their genesis, Arkhangelsk diamondiferous province, “Grib” pipe, Lomonosov deposit, kudryavtsevait, lamproites and related rocks, kimberlite pipe “Galina”, ferrimagnetic minerals, their properties and classification

Биография

Галина Петровна Кудрявцева родилась 8 марта 1947 года в г. Москве. В 1965 г. она поступила на геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, навсегда связав свою трудовую деятельность с наукой и Московским университетом.

В 1970 г. Галина Петровна окончила геологический факультет с отличием, получив квалификацию геолога-геохимика. В том же году поступила в аспирантуру кафедры минералогии геологического фа-

культета МГУ и в 1973 г. успешно защитила кандидатскую диссертацию, посвященную исследованию фазового состава и магнитных свойств ферришпинелидов Ковдорского массива (Кольский полуостров). В 37 лет она стала доктором геолого-минералогических наук, в то время если не самым молодым, то точно одним из самых юных докторов наук не только на факультете, но и в МГУ. Тема ее докторской диссертации: «Магнитные свойства природных ферритов-окислов».

Лаборатория месторождений алмаза МГУ

В 1982 г. по инициативе Г.П. Кудрявцевой на геологическом факультете МГУ была основана Лаборатория месторождений алмаза, ставшая позднее известнейшей кузницей профессиональных кадров. Создание лаборатории месторождений алмаза было поддержано ректором МГУ, академиком А.А. Логуновым, и в результате специально для лаборатории из резерва Московского университета было выделено шесть штатных единиц сотрудников. Сразу после открытия лаборатории ее сотрудники приступили к проведению обширных минералогических работ для практически всех тел и объектов на севере европейской части России, в Архангельской алмазоносной провинции, открытой в начале 1980-х гг. [1–3]. Галина Петровна Кудрявцева руководила работами по подсчету запасов алмазов на месторождениях им. М.В. Ломоносова и В. Гриба. В течение тридцати пяти лет она была научным руководителем целого ряда госбюджетных и хоздоговорных работ на объектах Архангельской и Якутской алмазоносных провинций.

Галиной Петровной воспитана целая плеяда талантливых учеников и создана школа геологов-алмазников МГУ, выпускники которой стали крупными учеными, известными геологами-производственниками. Крайне важно, что созданная Галиной Петровной лаборатория месторождений алмаза и ее многочисленные ученики продолжают активно работать и в настоящее время, исследуя широкий ряд фундаментальных вопросов природного алмазообразования и формирования щелочно-ультраосновных пород, решая прикладные задачи поиска месторождений алмаза и оценки алмазности кимберлитовых пород.

Педагогическая деятельность

Галина Петровна Кудрявцева обладала великолепным даром педагога, ведь ее учителями были блестящие минералоги и выдающиеся ученые Московского университета: академик В.И. Смирнов, профессор Г.А. Крутов, профессор Г.П. Барсанов и другие. Она не была профессором, хотя вполне могла занимать эту должность на геологическом факультете, поскольку обладала блестящими ораторскими способностями [4]. Галина Петровна читала лекции по методам исследования минерального вещества и вела занятия по термомагнитному анализу. Как ученый с мировым именем, она выступала с докладами и лекциями по минералогии алмаза и его минералов-спутников,

общим вопросам образования кимберлитов и лампроитов в Канаде, Америке, Англии, Австрии, Бразилии, Мексике, Германии, Болгарии, Чехословакии.



*Галина Петровна Кудрявцева
в возрасте 40 лет*

Галина Петровна всегда была окружена студентами, аспирантами и молодыми сотрудниками, к каждому из которых умела найти свой подход. Многим аспирантам и соискателям она помогала консультациями и советами, не являясь при этом их научным руководителем.

Под ее непосредственным научным руководством были подготовлены и успешно защищены 12 кандидатских диссертаций. Авторы трех из них: В.В. Вержак, Е.М. Веричев, Н.Н. Головин – первооткрыватели месторождений алмаза, заслуженные геологи Российской Федерации, лауреаты Премии Правительства России в области науки и техники и Государственной Премии СССР.

Научные достижения

Галина Петровна с 1973 г. работала на кафедре минералогии геологического факультета МГУ, пройдя путь от младшего до ведущего научного сотрудника. Она обладала ярким научным талантом, поразительной работоспособностью и широтой профессиональных интересов. Основные направления ее научной деятельности – минералогия алмаза и генезис алмазных месторождений; петрология и минералогия кимберлитов, лампроитов и других щелочно-ультраосновных пород; минералогия и условия образования ферромагнитных минералов; физика минералов (магнитные и электронно-зондовые методы исследования минерального вещества).

Галиной Петровной создана классификация природных ферромагнитных минералов и их магнитных характеристик, изучена взаимосвязь «состав – кристаллическая структура – магнитные свойства» для природных оксидов, установлена высокая информативность магнитных характеристик минералов для решения ряда теоретических и прикладных задач, раскрыта природа отрицательных магнитных аномалий над геологическими телами [5].

Г.П. Кудрявцева с соавторами установили типоморфные особенности состава и физических свойств важнейших минералов – спутников алмаза, предложили экспресс-методы их изучения, разработали комплексную методику поисков и оценки алмазоносности кимберлитов и лампроитов; обнаружили новые типы глубинных включений ультрабазитов и эклогитов в кимберлитах, впервые на экспериментальном материале доказали дискретность (сложный, многостадийный характер) природного алмазообразования и внедрили новый метод исследования внутреннего строения алмаза, позволивший установить закономерности эволюции этого минерала и проводить эффективную разбраковку алмазного сырья [3, 6].

Научные исследования Г.П. Кудрявцевой тесно связаны с разработкой и внедрением в практику геолого-разведочных работ новых физических методов исследования. Именно она стояла у истоков работ в области минералогического материаловедения, рассматривающей сами минералы как новые источники и прототипы современных функциональных материалов; впервые внедрен метод электро-импульсной дезинтеграции для обогащения руд и извлечения драгоценных камней. С именем Галины Петровны безусловно связано и зарождение нового комплексного подхода к изучению минерального вещества, отраженных в ее совместных с коллегами трудах [7, 8], которые посвящены применению электронно-зондовых приборов для изучения минерального вещества. По сути, в этих фундаментальных трудах заложены основы современного курса методов исследования минералов, который в настоящее время является базовым для проведения научных исследований минералов, руд, горных пород и их искусственных аналогов у геохимиков, геологов и других специалистов, связанных с изучением состава природных объектов. Благодаря этим работам показана важная роль локальных методов исследования.

Г.П. Кудрявцева разработала новую технологию поиска и оценки алмазоносности кимберлитов и лампроитов, в основе ко-

торой заложены не только типоморфные особенности минералов мантийных пород (в том числе и алмазоносных), но и особенности состава рудных минералов из собственно связующей массы кимберлитовых и лампроитовых пород [2]. Это приоритетное новое направление было разработано на тот момент впервые только в России. В данной технологии заложены параметры глубины очага и скорости подъема расплава к поверхности и показано, что реальная алмазоносность объекта может существенно отличаться от потенциальной по многим факторам сложной эволюции зарождения алмаза, его роста и дальнейшего растворения.

В последние годы жизни ею был обоснован новый подход к утилизации отходов алмазодобычи с параллельным производством широкого ассортимента полезных продуктов.

Галина Петровна отличалась не только разносторонностью научных интересов, но и уникальной творческой активностью: опубликовала более 500 работ, из них 14 монографий, учебников и учебных пособий, являлась соавтором 15 свидетельств на изобретения и патентов.

Монографии, автором и соавтором которых она является, хорошо известны российским и зарубежным ученым. Назовем наиболее значимые из них. «Ферромагнетизм природных оксидов» (1988), в которой обозначено новое направление в изучении природных минералов и в физике минералов [5]. В работе «Включения в алмазе и алмазоносные породы» (1991) [6] впервые в мире была выдвинута идея дискретности природного алмазообразования, заключающаяся в том, что сложное внутреннее строение даже однородных с виду кристаллов алмаза в совокупности с результатами детального исследования минеральных включений, в том числе включений типа «алмаз в алмазе», позволило установить многостадийность и сложность процесса образования алмазов, смену условий в ходе их кристаллизации. Изданная в 1999 г. монография «Архангельская алмазоносная провинция» [1], соавтором и одним из руководителей авторского коллектива которой являлась Г.П. Кудрявцева, – первый фундаментальный труд, посвященный новой алмазоносной провинции России и мира. В 2001 г. вышла в свет коллективная работа «Новые технологии разведки алмазных месторождений» [2], в подготовке которой Г.П. Кудрявцева принимала самое активное участие. В 2005 г. под ее руководством издана еще одна выдающаяся работа: «Атлас: Морфогенез алмаза и его минералов-спут-

ников из кимберлитов и родственных им пород Архангельской алмазоносной провинции» [3].

Галина Петровна проводила исследования не только в лаборатории, но и, как настоящий геолог, работала на целом ряде крупнейших и уникальных месторождений алмаза, золота, платины в Канаде, США, Мексике, Бразилии, Австралии, Южной Африке, Китае, Японии, Австрии, Германии, Болгарии, Чехословакии.

Признание заслуг перед наукой и обществом

Научная и общественная деятельность Г.П. Кудрявцевой получила широкое признание в России и за рубежом. Она являлась членом Ученого совета геологического факультета (1985–1989), Спецсовета по защите диссертаций (1986–1989, 2002–2006), Всесоюзного и Всероссийского минералогического общества (1978, 1992), Ученого совета Минералогического музея АН СССР им. А.Е. Ферсмана (1986), Научного совета по межфакультетской теме МГУ по исследованию новых магнитных материалов (1986–1992), Координационного совета МГУ по высокотемпературной сверхпроводимости (1982–1992), Совета директоров австралийской горнорудной компании «Сайбер Ресурсиз Лтд» (1993–1997).

Г.П. Кудрявцева – лауреат конкурсов научных работ молодых ученых МГУ имени М.В. Ломоносова (1974, 1976, 1979) и премий Минвуза СССР (1975, 1981, 1983, 1985, 1987). Награждена золотой медалью Академии наук СССР за лучшую научную работу молодого ученого (1978), дипломом I степени МО ВМО (1983), бронзовой медалью ВДНХ (1985). В 2004 г. Галина Петровна была награждена Европейской академией естественных наук орденом Екатерины Великой за выдающиеся научные достижения, а в 1999 г. в составе коллектива ученых и производственников получила звание лауреата Премии Правительства России в области науки и техники за разработку и освоение экологически безопасных технологий оценочных, геологоразведочных и добычных работ с использованием скважин большого диаметра в Архангельской алмазоносной провинции.

В памяти навсегда

По словам родных и коллег Галины Петровны, она была человеком энциклопедического масштаба знаний. Вокруг нее все по-настоящему расцветало [9], ведь не просто так ее день рождения пришелся на 8 марта. Коллектив геологического фа-

культета и университета, многочисленные коллеги, ученики, друзья и знакомые помнят и ценят Галину Петровну, которой не стало 26 февраля 2006 года. Уже в 2007 году решением Правления ОАО «СЕВЕРАЛМАЗ» и Северным Комитетом по геологии (г. Архангельск) в Архангельской алмазоносной провинции в честь Галины Петровны Кудрявцевой названа новая кимберлитовая трубка, получившая имя «Галина» [10]. С 2014 г. студентам геологического факультета, демонстрирующим успехи в учебе и научных исследованиях, присуждается стипендия имени Г.П. Кудрявцевой.

Галина Петровна, как настоящий геолог, была в постоянном поиске, поиске нового. За всю свою жизнь она изучила десятки тысяч различных образцов, но ей так и не удалось при жизни найти новый минерал. Вместе с тем в 2013 г. при исследованиях кимберлитовых пород алмазоносной трубки АК 8 (Ботсвана, Южная Африка) сотрудниками Лаборатории месторождений алмаза МГУ был открыт новый минерал, который впоследствии получил свое название в честь Галины Петровны – кудрявцеваит. Кудрявцеваит с формулой $\text{Na}_3\text{MgFe}^{3+}\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ был обнаружен в измененных участках ксенозерен магнезиального ильменита в ассоциации с фрейденбергитом и магнезиальной ульвошпинелью [11]. Отрадно, что этот минерал был открыт именно в кимберлитовых породах, ставших в каком-то смысле родными для Галины Петровны, с которыми она и связала свою научную жизнь.

С 2007 г. в МГУ на геологическом факультете ежегодно проходят научные чтения имени Г.П. Кудрявцевой, где обсуждаются самые актуальные и сложные вопросы алмазной геологии настоящего и будущего – того самого настоящего и будущего, контуры которого были определены далеко вперед в научных исследованиях выдающегося ученого Галины Петровны Кудрявцевой.

Память о Галине Петровне, выдающемся минералоге, талантливом педагоге и замечательном, отзывчивом человеке, навсегда сохранится в сердцах коллег, учеников и друзей.

Авторы выражают искреннюю благодарность родным и близким Г.П. Кудрявцевой за воспоминания, ценные замечания и предложения, которые способствовали написанию статьи.

Список литературы

1. Архангельская алмазоносная провинция: (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.

2. Кротков В.В., Кудрявцева Г.П., Богатиков О.А., Валуев Е.В., Вержак В.В., Гаранин В.К., Заостровцев А.А., Кононова В.А., Литинский Ю.В., Пашкевич И.П., Степанов А.Н., Фортгин В.С. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС, 2001. 310 с.
3. Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В., Вержак В.В., Веричев Е.М., Гаранин В.К., Головин Н.Н., Зуев В.М. Атлас. Морфогенез алмаза и минералов-спутников в кимберлитах и родственных породах архангельской кимберлитовой провинции. М.: Полярный круг, 2005. 624 с.
4. Бобров А.В. Галина Петровна и студенты. Сборник публикаций по результатам V и VI ежегодных научных чтений им. Г.П. Кудрявцевой. М.: Изд-во Института прикладной минералогии, 2013. С. 138–140. 5. Кудрявцева Г.П. Ферромагнетизм природных оксидов. М.: Недра, 1988. 232 с.
6. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: МГУ, 1991, 240 с.
7. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. Применение электронно-зондовых приборов для изучения минерального вещества. М.: Недра, 1983. 214 с.
8. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В., Сергеева Н.Е. Электронно-зондовые методы изучения минералов. Ч. 1. М.: Изд-во Московского университета, 1987. 250 с.
9. Гаранин К.В. Родные люди. Сборник публикаций по результатам VII, VIII и IX ежегодных научных чтений им. Г.П. Кудрявцевой. Т. 1. М.: Изд-во Института прикладной минералогии, 2019. С. 222–225.
10. Копчиков М.Б., Сергеева О.С., Гаранин В.К., Ларченко В.Л. Первые данные об алмазах из новых кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка 2009. № 1. С. 17–22.
11. Anashkin S., Bovkun A., Bindi L., Garanin V., Litvin Y. Kudryavtsevaite, $\text{Na}_3\text{MgFe}^{3+}\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, a new kimberlitic mineral. Mineralogical Magazine. April 2013. Vol. 77 (3). P. 327–334.