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 = 0,570

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,277

№ 5 2020

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

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,570.
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,277.

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

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции: 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 Л.М. Байгузова
Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать 29.05.2020
Дата выхода номера 29.06.2020

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. 14,5
Тираж 500 экз.
Заказ МЖПиФИ 2020/5

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМЫ РЕКИ ЧЕРНОЙ И ОЦЕНКА ИХ ВЫНОСА
В СЕВАСТОПОЛЬСКУЮ БУХТУ В ЗИМНИЙ СЕЗОН 2020 ГОДА

Малахова Л.В., Егоров В.Н., Малахова Т.В., Лобко В.В., Мурашова А.И., Бобко Н.И. 7

ОБЗОРЫ

РОЛЬ МИКРОГЛИАЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ В МОДУЛЯЦИИ НЕЙРОГЕНЕЗА
ВО ВЗРОСЛОМ МОЗГЕ

Патлай Н.И., Сотников Е.Б., Тучина О.П. 15

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО
СТРОЕНИЯ БЕРЕГОВ ЗАЛИВА КАСАТКА, ОСТРОВ ИТУРУП

Едемский Д.Е., Прокопович И.В. 24

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ПУЛЬСОВОЕ КРОВЕНАПОЛНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА
У ДЕТЕЙ ДО 6 ЛЕТ ПРИ БОЛЕЗНИ ПЕРТЕСА

Бунов В.С., Тепленький М.П., Олейников Е.В. 33

МАГНИТОТЕРАПИЯ С АУДИО-МУЗЫКАЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ В КОМПЛЕКСНОМ
ЛЕЧЕНИИ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ АНГИОПАТИИ СОСУДОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Косякова Н.И., Сандалова Т.В., Ильеня Э.Л., Панкратова Е.В., Матрусов С.Г. 38

КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕТОВЫХ
МЕТОДОВ ФИЗИОТЕРАПИИ В СТОМАТОЛОГИИ

Ларинская А.В., Юркевич А.В., Ушницкий И.Д., Кравченко В.А.,
Михальченко В.Ф., Михальченко А.В., Щеглов А.В., Семенов А.Д. 43

ПОПУЛЯЦИЯ КЛЕТОК МЕНИНГИОМ СО СТВОЛОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

Никитин П.В., Зубова И.В., Шугай С.В., Галстян С.А., Хохлова Е.А. 47

ЭТИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ
ТРОМБОЦИТОПАТИИ У ДЕТЕЙ

Тракс О.В. 52

СВЯЗАННЫЕ С ДВИЖЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЫ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА
КАК ЭЛЕКТРОГРАФИЧЕСКИЙ КОРРЕЛЯТ ПОДГОТОВКИ
И РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЬНОГО АКТА

Трошина Е.М., Сазонова О.Б., Кроткова О.А., Шарова Е.В.,
Каверина М.Ю., Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А. 57

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛЕТОК И ТКАНЕЙ
В РАНЕВОМ ПРОЦЕССЕ

Чепурненко М.Н., Чепурненко Д.А. 63

ОБЗОРЫ

СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ЭТИОЛОГИЮ ХРОНИЧЕСКОГО ЭНДОМЕТРИТА

Исмаилова Ф.К., Петров Ю.А. *68*

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ОБРАЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ – ПЕРСПЕКТИВЫ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ. ОСОБЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ САМОИЗОЛЯЦИИ И КАРАНТИНА

Пенькова Л.В., Дилдабекова Н.Т., Асмагамбетова М.Т., Романова А.Р. *73*

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАРТОФЕЛЯ

Уромова И.П., Козлов А.В. *77*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

Айдаралиев Ж.К., Абдиев М.С., Исманов Ю.Х. *82*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Денисенко А.А. *87*

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ТИТАНАТОВ БАРИЯ-СТРОНЦИЯ МЕТОДОМ «ХИМИЧЕСКОЙ СБОРКИ»

Евстифеев Е.Н., Журавлев А.В., Нестеров А.А. *92*

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭСКАЛАТОРНОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТРОПОЛИТЕНА

Еланцев В.В. *98*

ОБЗОРЫ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО

Тертышник Э.Г., Епифанова И.Э. *105*

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

СТАЦИОНАРНОЕ ОБТЕКАНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ САМОДВИЖУЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА

Сенницкий В.Л., Гребнева В.А. *112*

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

ORGANOCHLORINE COMPOUNDS CONTENT IN THE COMPONENTS OF THE BLACK RIVER ECOSYSTEM AND ASSESSMENT OF THEIR INFLOW TO THE SEVASTOPOL BAY IN THE WINTER SEASON 2020

Malakhova L.V., Egorov V.N., Malakhova T.V., Lobko V.V., Murashova A.I., Bobko N.I. 7

REVIEWS

THE ROLE OF MICROGLIAL CYTOKINES IN THE MODULATION OF NEUROGENESIS IN THE ADULT BRAIN

Patlay N.I., Sotnikov E.B., Tuchina O.P. 15

GEOLOGICAL-MINERALOGICAL SCIENCES

ARTICLES

GPR SURVEY OF THE GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF SEA COAST OF KASATKA BAY, ITURUP

Edemskiy D.E., Prokopovich I.V. 24

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

PULSE BLOOD COMPLETION OF COMPONENTS OF HIP JOINT IN CHILDREN UNDER 6 YEARS WITH PERTHERS DISEASE

Bunov V.S., Teplenkiy M.P., Oleynikov E.V. 33

MAGNETIC THERAPY WITH AUDIO-MUSICAL EFFECTS IN THE COMPLEX TREATMENT OF DIABETIC ANGIOPATHY OF LOWER LIMB VESSELS

Kosyakova N.I., Sandalova T.V., Ilenya E.L., Pankratova E.V., Matrusov S.G. 38

CLINICAL CHARACTERISTIC OF CLINICAL INFLUENCE MECHANISM OF LIGHT PHYSIOTHERAPY METHODS IN ODONTOLOGY

Larinskaya A.V., Yurkevich A.V., Ushnitskiy I.D., Kravchenko V.A., Mikhalchenko V.F., Mikhalchenko A.V., Shcheglov A.V., Semenov A.D. 43

MENINGIOMA CELLS POPULATION WITH STEM PROPERTIES

Nikitin P.V., Zubova I.V., Shugay S.V., Galstyan S.A., Khokhlova E.A. 47

ETHIOLOGICAL FACTORS AND CLINICAL MANIFESTATIONS OF THROMBOCYTOPATHY IN CHILDREN

Traks O.V. 52

MOVEMENT-RELATED POTENTIALS OF THE HUMAN BRAIN AS AN ELECTROGRAPHIC CORRELATE OF THE PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF AN VOLUNTARY MOTOR ACT

Troshina E.M., Sazonova O.B., Krotkova O.A., Sharova E.V., Kaverina M.Yu., Boldyreva G.N., Zhavoronkova L.A. 57

CHARACTERISTICS OF REACTIVE CHANGES OF CELLS AND TISSUES IN THE WOUNDED PROCESS

Chepurnenko M.N., Chepurnenko D.A. 63

REVIEWS

CURRENT VIEWS ON THE ETIOLOGY OF CHRONIC ENDOMETRITIS

Ismailova F.K., Petrov Yu.A. *68*

PEDAGOGICAL SCIENCES

ARTICLES

DISTANCE EDUCATION IN MEDICINE – PROSPECT, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES. FEATURES IN CONDITIONS OF SELF-ISOLATION AND QUARANTINE

Penkova L.V., Dildabekova N.T., Asmagambetova M.T., Romanova A.R. *73*

AGRICULTURAL SCIENCES

ARTICLES

EFFECT OF BIOPREPARATIONS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF POTATOES

Uromova I.P., Kozlov A.V. *77*

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

OBTAINING A LAYERED COMPOSITE BASED ON BASALT FIBERS

Aydaraliev Zh.K., Abdiev M.S., Ismanov Yu.Kh. *82*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TEXT RECOGNITION SYSTEM

Denisenko A.A. *87*

SYNTHESIS OF SOLID SOLUTIONS OF TITANATES OF BARIUM-STRONTIUM THE METHOD OF «CHEMICAL ASSEMBLAGE»

Evstifeev E.N., Zhuravlev A.V., Nesterov A.A. *92*

TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. HISTORY OF UNDERGROUND ESCALATOR MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM

Elantsev V.V. *98*

REVIEWS

EXPERIMENTAL RESEARCHS OF POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF LOW ENERGETIC NUCLEAR REACTIONS IN THE FUTURE ENERGETICS

Tertyshnik E.G., Epifanova I.E. *105*

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

STATIONARY FLOW OF A VISCOUS LIQUID PAST A SELF-MOVING CYLINRICAL BODY

Sennitskiy V.L., Grebneva V.A. *112*

СТАТЬИ

УДК 574.52:556

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМЫ РЕКИ ЧЕРНОЙ И ОЦЕНКА ИХ ВЫНОСА В СЕВАСТОПОЛЬСКУЮ БУХТУ В ЗИМНИЙ СЕЗОН 2020 ГОДА

Малахова Л.В., Егоров В.Н., Малахова Т.В., Лобко В.В., Мурашова А.И., Бобко Н.И.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь,
e-mail: malakhovalv@ibss-ras.ru

Представлены результаты анализа хлорорганических соединений в воде и гидробионтах р. Черной в январе и феврале 2020 г. Концентрация таких хлорорганических ксенобиотиков, как пестицид п,п'-дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболитов п,п'-дихлордифенилдихлорэтилен и п,п'- дихлордифенилдихлорэтан, и шести индикаторных полихлорбифенилов была повышенной в устьевом участке по сравнению с районом среднего течения реки. По отношению к ПДК водных объектов культурно-бытового и рыбо-хозяйственного использования в воде не отмечено превышения нормативных значений, что свидетельствует о высоком качестве (в отношении данных токсикантов) воды одного из основных ресурсов питьевого водоснабжения г. Севастополя. В двух районах реки определены уровни накопления хлорорганических соединений водорослями (*Cladophora* spp.), высшими водными растениями (*Potamogeton* spp.) и моллюсками (*Crassostrea gigas* и *Mytilus galloprovincialis*). Установлены межвидовые различия в накоплении хлоруглеводородов в гидрофитах реки. Наибольшие коэффициенты накопления ХОС, достигающие $6 \cdot 10^4$, определены у *Potamogeton* spp. ПДК хлорорганических соединений в гидробионтах превышены не были. Проведена оценка выноса хлорорганических соединений в Севастопольскую бухту с потоком р. Черной в зимний сезон 2020 г. На масштабе двух месяцев изменчивость стока хлорированных углеводородов зависела в основном от степени загрязненности реки.

Ключевые слова: ДДТ, ПХБ, *Cladophora* spp., *Potamogeton* spp., двустворчатые моллюски, река Черная, бухта Севастопольская

ORGANOCHLORINE COMPOUNDS CONTENT IN THE COMPONENTS OF THE BLACK RIVER ECOSYSTEM AND ASSESSMENT OF THEIR INFLOW TO THE SEVASTOPOL BAY IN THE WINTER SEASON 2020

Malakhova L.V., Egorov V.N., Malakhova T.V., Lobko V.V., Murashova A.I., Bobko N.I.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Sea of RAS, Sevastopol,
e-mail: malakhovalv@ibss-ras.ru

The results of analysis of organochlorine compounds in water and hydrobionts of the Chernaya River in January and February 2020 are presented. Concentrations of organochlorine xenobiotics such as p,p'-dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and its metabolites p,p'-dichlorodiphenyldichloroethylene and p,p'-dichlorodiphenyldichloroethane, and six indicator polychlorinated biphenyls were increased in the estuary section in comparison with the middle part of the river. In relation to maximum allowable concentration for water of domestic and fishery use, no excess of normative values was registered, which indicates a high water quality of one of the main drinking water resources of Sevastopol with respect to these toxicants. Organochlorine compounds accumulation levels by algae (*Cladophora* spp.), higher aquatic plants (*Potamogeton* spp.) and shellfish (*Crassostrea gigas* and *Mytilus galloprovincialis*) in two river parts have been determined. Interspecies differences in the accumulation of organochlorine compounds in the river hydrophytes have been identified. The highest organochlorine compounds accumulation coefficients, reaching $6 \cdot 10^4$, have been found in *Potamogeton* spp. Maximum allowable concentration of organochlorine compounds were not exceeded at the study hydrobionts. The discharge of organochlorine compounds into the Sevastopol Bay with the flow of the Chernaya River in the winter season 2020 was estimated. On a two-month scale the variability in the flow of organochlorine compounds depended mainly on the pollution level of the river.

Keywords: DDT, PCB, *Cladophora* spp., *Potamogeton* spp., bivalve, Chernaya River, Sevastopol Bay

Разработка критериев контроля экологического состояния окружающей среды по оценке равновесия между использованием и воспроизводством качества ее водных ресурсов является весьма актуальной для морских регионов, поскольку масштабы поступления загрязняющих веществ в морскую среду в отдельных районах превзошли интенсивность природных биогеохимических процессов самоочищения. В связи с этим возникла проблема определения влияния опасных загрязнителей на морские экосистемы и поиск комплекса природных механизмов их самоочищения, которые, по заключению В.И. Вернадского, обеспечивают устойчивость биогеоценозов по отношению к воздействующим факторам.

Эта проблема касается и хлорорганических соединений (ХОС), к которым относятся хлорорганические пестициды (ХОП)

и полихлорбифенилы (ПХБ). ХОП экстенсивно использовались до 1970-х гг. в аграрном и коммунальном секторах для борьбы с насекомыми. ПХБ до 1990-х гг. широко применяли в качестве теплоносителей, гидравлических жидкостей, диэлектриков в конденсаторах и трансформаторах и т.п. Эти соединения из различных источников попадали в окружающую среду и в её условиях оказались очень устойчивыми, что привело к их глобальному распространению.

Изучение «судьбы» данных ксенобиотиков, поступающих в прибрежные черноморские районы Крыма, продолжается уже почти полвека в отделе радиационной и химической биологии ИнБЮМ. В последнее десятилетие использование современных прецизионных методов анализа ХОС и геохронологические исследования кернов донных отложений позволили установить период максимальной загрязненности ХОС в прибрежных акваториях моря, относящийся к 1970–1980-м гг. [1]. В гидробионтах различной таксономической принадлежности нами были определены коэффициенты накопления ХОС ($К_н$), максимальные значения которых достигали $n \cdot 10^6$ в подкожно-жировой клетчатке морских млекопитающих. Накопление ХОС водными организмами привело к тому, что они обнаруживались в гидробионтах даже в тех районах моря, где в воде не определялись, а высокие концентрации ХОС, например, у рыб способствовали ослаблению антиоксидантной защиты и развитию окислительного стресса [2]. В севастопольской морской акватории наиболее загрязненными районами являются бухты, имеющие затрудненный водообмен с открытым морем, из которых Севастопольская бухта является наиболее подверженной антропогенной нагрузке. При изучении биогеохимических механизмов ее самоочищения от загрязнителей было определено, что в современных условиях приоритетными загрязнителями являются ПХБ и соединения группы п,п'-дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ). Распределение ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД в поверхностном слое воды в бухте в весенний сезон 2008 г. показало, что повышенное содержание пестицидов этой группы было обнаружено в вершине бухты, в которую поступает сток р. Черной [3].

На реке Черной Крымским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды («Крымское УГМС») ведутся ежеквартальные гидрометрические и гидрохимические наблюдения, которые включают анализ качества воды по санитарно-гигиеническим нормам [4]. При изучении экологических аспектов р. Черной было показано, что в Севастопольскую бухту выносится до 70% речного материала, что оказывает заметное влияние на её гидрохимический режим [5]. А в работе [6] было определено, что в паводковый период 2015 г. опреснение за счет речного стока выходило за пределы Нефтяной гавани, которая находится на расстоянии 1 км от вершины Севастопольской бухты, где в тот же период паводков значительно повышалась концентрация биогенных элементов. В целом гидрохимический режим реки и его влияние на бухту изучался неоднократно, однако вынос ХОС с потоком р. Черной до настоящего времени не оценивался. В то же время стало ясно, что для сохранения экологически безопасного состояния Севастопольской бухты в отношении ХОС необходимо нормировать антропогенную нагрузку из всех источников, в том числе с речным стоком Черной.

Целью работы являлось определение содержания ХОС в компонентах экосистемы р. Черной и оценка их поступления в Севастопольскую бухту в зимний сезон 2020 г.

Материалы и методы исследования

Исследования содержания ХОС в объектах экосистемы р. Черной были начаты в январе 2020 г. Схема станций приведена на рис. 1.

Пробы воды отбирали в январе и феврале 2020 г. в четырех точках нижнего и среднего течения р. Черной: в устьевой части в районе смешения речной и морской воды (ст. 1), в районе поселка Сахарная головка (ст. 2), у с. Хмельницкое (ст. 3) и в Байдарской долине (ст. 4). Для оценки уровня накопления ХОС в гидробионтах в устьевой части р. Черной на ст. 1 также были отобраны двустворчатые моллюски – мидии *Mytilus galloprovincialis* и устрицы *Crassostrea gigas, a* на ст. 3 отбирали пробы водоросли кладофоры *Cladophora* spp. и многолетних высших водных растений рдестов *Potamogeton* spp. Пробы гидрофитов высушивали, затем их гомогенизировали и отбирали аликвоты для анализа. У мидий и устриц для анализа отбирали мягкие части от нескольких особей. Пробоподготовка включала экстракцию аналитов из проб воды н-гексаном, из проб гидробионтов – смесью ацетона и н-гексана (1:3) и дальнейшую очистку экстрактов от мешающих анализу полярных соединений колоночной хроматографией с флорисилом. В воде и гидробионтах газохроматографическим методом было определено содержание п,п'-ДДТ (далее ДДТ) и его метаболитов 4,4'-ДДЭ (ДДЭ) и 4,4'-ДДД (ДДД), а также шести индикаторных конгенеров ПХБ (по номенклатуре IUPAC: 28, 52, 101, 138, 153 и 180). Анализ ХОС выполняли

в ЦКП «Спектрометрия и Хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на газовом хроматографе Хроматэк Кристалл 5000 с микро-ЭЗД с параметрами газохроматографической системы, описанными в [7]. Концентрация ПХБ представлена как сумма шести конгенеров $\Sigma ПХБ_6$, ДДТ – как сумма исходного пестицида ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД (ΣДДТ). Ошибка определения ХОС в воде не превышала 28%, в гидробионтах – 15%. Для гидробионтов были рассчитаны коэффициенты накопления ХОС ($К_н$), равные отношению концентрации ХОС в массе гидробионта к его содержанию в воде.

В работе также использованы материалы наблюдений за содержанием ДДТ и ПХБ в воде Севастопольской бухты, полученные в период с 2016 по 2019 г. в ФИЦ ИнБЮМ. Общее содержание (или пул: $П_{ХОС}$) ХОС в водной массе бухты рассчитывали по формуле

$$П_{ХОС} = С_{ХОС} \cdot V,$$

где $С_{ХОС}$ – концентрация ХОС в воде, V – объем воды выделенного бокса бухты. Районирование акваторий бухты на пять боксов было сделано с учетом её морфологических характеристик, а также гидрологических и гидрохимических исследований [3]. При расчетах принято допущение о равномерном распределении концентрации ХОС в границах бокса.

Результаты исследования и их обсуждение

ХОС в воде р. Черной. В зимний сезон 2020 г. во всех пробах воды р. Черной были обнаружены ХОП из группы ДДТ и индикаторные конгенеры ПХБ. Концентрация ΣДДТ изменялась от уровней ниже предела обнаружения (<0,1 нг/л) на ст. 2 до 0,52 нг/л в Байдарской долине на ст. 4 (рис. 2). Исходный пестицид ДДТ на ст. 1 и 2 в январе обнаружен не был. На других станциях отношение суммы концентрации метаболитов ДДЭ и ДДД к концентрации ДДТ (∑(ДДЭ + ДДД)/ДДТ), которое показывает степень преобразования исходного препарата, превышало единицу в 2,5–11 раз, что могло свидетельствовать как о поступлении ДДТ в воду р. Черной в существенно меньшем количестве, чем его метаболитов, так и о прошедшем распаде ДДТ непосредственно в воде реки.

Концентрация $\Sigma ПХБ_6$ в январе была минимальной на ст. 3, а максимальной – 7,88 нг/л – на ст. 1. На всех станциях, кроме ст. 4 в феврале, она превышала содержание ΣДДТ в среднем на порядок величин. В январе концентрация $\Sigma ПХБ_6$ в воде в среднем была выше в 3 раза, чем в феврале. Так же как в январе, в феврале повышенное содержание $\Sigma ПХБ_6$ было обнаружено в устьевом районе на ст. 1.

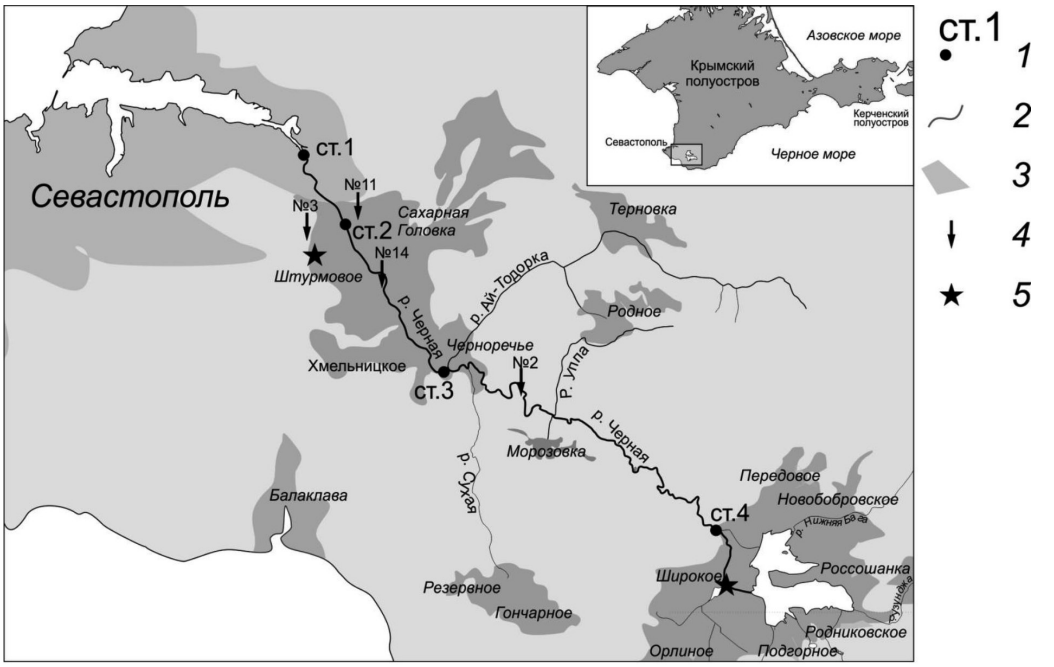


Рис. 1. Схема станций отбора проб на р. Черной. Обозначения: 1 – место отбора проб и номер станции, 2 – русло рек, 3 – контуры населенных пунктов, 4 – гидроузлы на реке Черной, 5 – очистные сооружения

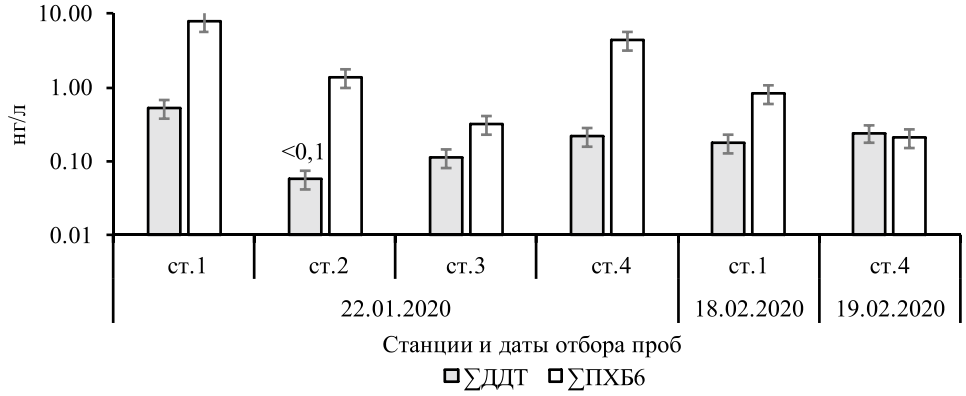


Рис. 2. Концентрация ХОС в воде р. Черной в январе и феврале 2020 г. Вертикальными отрезками показаны погрешности определения

Наблюдаемый широкий диапазон изменчивости концентрации ХОС в воде определялся наличием источников их поступления в реку в районе отбора проб. Точные источники поступления ДДТ и ПХБ на данный момент не были определены. Известно, что десятилетиями в реку поступали выпуски с канализационных очистных сооружений поселков Озерное и Сахарная головка [8]. По информации Севприроднадзора в ежегодном докладе о состоянии и об охране окружающей среды г. Севастополя в 2018 г. сброс сточных, транзитных и других вод осуществлялся в р. Черная в объеме 2,21 млн м^3, что равно 3,9 % от среднего годового стока реки в бухту, составляющего 56,8 млн м^3/год. В докладе сообщалось, что в последние годы нагрузка от такого типа источников варьировала по объемам сброса и по содержанию в них поллютантов. Вклад в обнаруженную вариабельность концентрации ХОС по течению р. Черной, очевидно, вносит и рассредоточенное по водосборной территории загрязнение. Важным обстоятельством для его выявления могут являться устные свидетельства жителей сел. Из рассказов старожилов поселков, расположенных на водосборной площади реки, следовало, что в середине прошлого века много садов и полей в их районах опыляли дустом (ДДТ). Вероятно, из почвы этих районов может и в настоящее время вымываться ДДТ и его метаболиты. Поступление поллютантов от таких источников непостоянно и связано с метеорологическими условиями, как правило с осадками. Такая зависимость уровней загрязненности ХОС водной акватории от проливных дождей нами была определена в летний сезон 2019 г. После проливного дождя 07.06.2019 г., когда в Севастополе за два часа выпала месячная норма осадков – свыше 33 мм, концентрация $\Sigma ПХБ_6$ в пробах воды в бухте Мартыновой оказалась повышенной на порядок величин по сравнению с фоновыми уровнями для этих районов и превысила ПДК в морской воде, равную 10 нг/л, в 4 раза. По-видимому, такое повышение являлось следствием поступления поллютантов в морскую акваторию с атмосферными осадками и смыва ПХБ ливневыми стоками из почвы, асфальтовых покрытий и других загрязненных наземных объектов на прилегающей территории.

Концентрация $\sum ПХБ_6$ и $\sum ДДТ$ в воде реки не превышала ПДК для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, равную 500 нг/л [4], и была сравнима с их концентрацией в воде Севастопольской бухты в 2018 г., где она изменялась в диапазоне от 0,54 до 2,49 и от 0,1 до 0,27 нг/л соответственно. Весной 2018 г. в районе впадения р. Черной в бухту содержание ХОС было повышено в среднем в 5 раз по сравнению с остальными районами бухты, что связано с поступлением ХОС с водой реки в паводковый период (рис. 3).

В последние годы загрязненность ХОС открытых районов Черного моря существенно снизилась по сравнению с началом 2010-х гг. Так, по данным 110-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в октябре 2019 г. в прибрежных районах Крыма концентрация $\sum ДДТ$ в среднем составила 0,33, $\sum ПХБ_6$ – 0,83 нг/л. В воде р. Черной концентрация $\sum ДДТ$ в период наблюдений в среднем была равна 0,23 нг/л, что оказалось ниже в 1,5 раза, по сравнению с морем, тогда как $\sum ПХБ_6$ – более чем в 2 раза выше (2,01 нг/л).

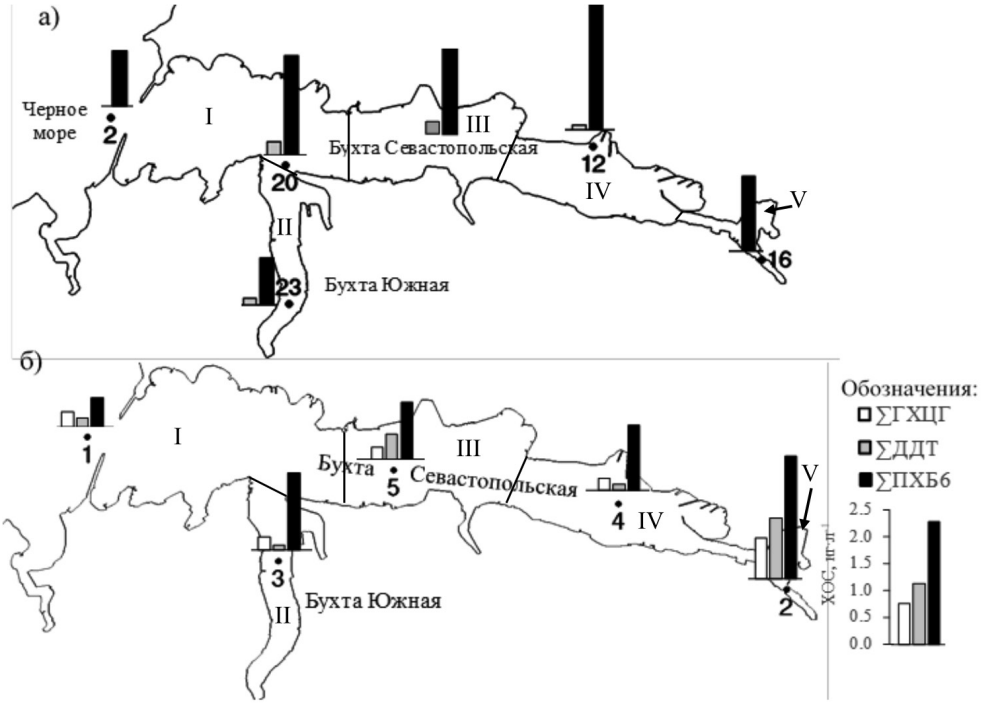


Рис. 3. Концентрация ХОС в поверхностном слое воды Севастопольской бухты в 2018 г.: а) зимний сезон, б) весенний сезон. Римскими цифрами обозначены боксы, на которые была условно поделена бухта

ХОС в гидробионтах. Вопрос о загрязнении ХОС гидробионтов р. Черной до настоящего времени оставался открытым. В январе 2020 г. была определена концентрация ХОС в кладофоре, которая произрастала на ст. 3 отдельными зарослями и составляла для ΣДДТ 0,19, а для $\Sigma ПХБ_6$ – 3,25 нг/г сухой массы. В рдесте содержание ΣДДТ и $\Sigma ПХБ_6$ было выше, чем в кладофоре, – 7,25 и 12,87 нг/г сухой массы соответственно. Более высокая концентрация ХОС в укореняющемся рдесте определяется, по-видимому, аккумулированием загрязнителей не только из воды, но и из донных отложений. Накопление ХОС гидрофитами в реке происходило с высокими $К_н$, составляющими в кладофоре $2 \cdot 10^3$ и $1 \cdot 10^4$, а в рдесте – $6 \cdot 10^4$ и $4 \cdot 10^4$ для ΣДДТ и $\Sigma ПХБ_6$ соответственно. С одной стороны, такое накопление ХОС гидробионтами может способствовать очищению среды обитания, с другой – высокие концентрации ХОС в растениях могут привести к таким неблагоприятным изменениям в состоянии гидрофитов, как снижение фотосинтетической активности и, как следствие, уменьшение биомассы растений.

Наряду с водорослями и растениями в качестве удобных биоиндикаторов уровней загрязненности ХОС использовали животных, в частности беспозвоночных. На ст. 1 в зоне смешения воды реки с морской водой бухты, где соленость воды в январе составила 12,3, а в феврале – 14,1‰, концентрация ΣДДТ в мидиях в среднем составила 7,1, $\Sigma ПХБ_6$ – 58,9, в устрицах – 8,2 и 49,5 нг/г сырой массы соответственно. Как и в воде и в гидрофитах, содержание $\Sigma ПХБ_6$ в моллюсках многократно превышало концентрацию ΣДДТ. Для сравнения, содержание ΣДДТ и $\Sigma ПХБ_6$ в мидиях из морского района у выхода из Карантинной бухты в январе 2014 г. составляло в среднем 6,1 и 67,3 нг/г сырой массы соответственно. Несмотря на то, что образцы мидий были отобраны в районах, имеющих выраженные географические и гидрохимические отличия, явных различий в накоплении ХОС обнаружено не было, что свидетельствует об одинаковом уровне техногенной нагрузки в исследуемых акваториях. $К_н$ в мидиях и устрицах на ст. 1 были равны для ΣДДТ $3 \cdot 10^4$, для $\Sigma ПХБ_6$ – $7 \cdot 10^3$. Высокое накопление ХОС в тканях мидий приводит к значительному очищению от них среды обитания моллюсков, а также может вызвать нарушения в функционировании пищеварительных органов, гонад и других органов моллюсков [9]. В случае миграции ХОС по пищевой цепи и накопления их в организме че-

ловека они могут вызвать неблагоприятные процессы, связанные с их иммуносупрессивными и мутагенными свойствами.

Оценка выноса ХОС в Севастопольскую бухту со стоком р. Черной. Оценка месячного выноса ХОС $R_{ХОС}$ (г) в бухту была проведена по рекомендациям [10] в соответствии с формулой

$$R_{ХОС} = C_{ХОС} \cdot W, \quad (1)$$

где $C_{ХОС}$ – средняя концентрация ХОС (мкг/м^3), определенная в январе и феврале 2020 г.; W – месячный объём стока, м^3.

Расходы воды реки по гидропосту с. Хмельницкое – р. Черная в январе и феврале 2020 г. были предоставлены Крымским УГМС (табл. 1). Эти данные приняты за основу для оценки стока реки в вершину бухты Севастопольской, поскольку притоков между с. Хмельницким и устьем реки нет [11].

Сравнение водности реки в январе и феврале с многолетними данными за эти месяцы с 1961 по 2007 г. показало, что зимний сезон 2020 г. являлся маловодным, в январе средний расход был меньше среднего многолетнего месячного расхода на 50%, а в феврале – почти на 60%.

Для расчета выноса ХОС с потоком р. Черной в бухту использовали значения концентрации ХОС, полученные на ст. 1 в нижнем течении реки (табл. 2).

Расчеты выноса ХОС в январе на основании концентрации ∑ДДТ на ст. 1 показали, что поступление ДДТ в бухту превысило февральское в 1,2 раза. Поступление ПХБ в бухту в январе оказалось в 9 раз выше, чем в феврале. Как видно, изменчивость выноса ХОС определялась в основном режимом загрязненности реки, сильно зависящим от источников поступления ХОС в реку между ст. 1 и ст. 2, которые значительно увеличили концентрацию ПХБ в устьевой части в январе.

Для ответа на вопрос, какую долю в воде Севастопольской бухты составляет количество ХОС, поступившее в бухту в зимний сезон 2020 г., авторы оценили пул ХОС в воде бухты по осредненным за период с 2016 по 2019 г. концентрациям ХОС в пяти боксах бухты (табл. 3).

Таблица 1

Сведения о расходе воды р. Черной по гидропосту с. Хмельницкое – р. Черная за январь и февраль 2020 г.

Месяц	Максимальный, м^3/с	Минимальный, м^3/с	Средний, м^3/с
Январь	1,25	1,08	1,18
Февраль	1,77	1,03	1,25

Таблица 2

Оценка выноса ХОС со стоком р. Черной в бухту Севастопольскую в январе и феврале 2020 г.

Месяц	Вынос ∑ДДТ, г/месяц	Вынос $\sum ПХБ_6$, г/месяц
Январь	0,70	24,90
Февраль	0,56	2,66
Суммарный	1,26	27,56

Таблица 3

Объемы боксов Севастопольской бухты [3], средняя концентрация ХОС в боксах в период с 2016 по 2019 г., пул ХОС в боксах и во всей Севастопольской бухте

Номер бокса	Объем бокса, м^3	Концентрация ∑ДДТ, нг/л	Концентрация $\sum ПХБ_6$, нг/л	$П_{\sum ДДТ}^{*}$, г	$П_{\sum ПХБ}^{**}$, г
I	33825650	0,37	2,13	12,52	72,05
II	10235990	0,31	2,06	3,17	21,09
III	22802850	0,32	2,54	7,30	57,92
IV	12935640	0,25	3,11	3,23	40,23
V	1512410	0,75	3,87	1,13	5,85
Вся бухта	81312540	0,40	2,74	32,53	222,80

Примечание. * – пул ∑ДДТ в воде Севастопольской бухты; ** – пул $\Sigma ПХБ_6$.

В результате расчетов $П_{ΣДДТ}$ в бухте оказался равным 32,53, $П_{ΣПХБ6}$ – 222,80 г. Ранее оценка пула ХОС в воде бухты была проведена в 2008 г., когда $П_{ΣДДТ}$ в воде Севастопольской бухты составлял 278 г, а $П_{ΣПХБ6}$ – 355 г [3]. По предварительным расчетам за последние 10 лет $П_{ΣДДТ}$ в воде бухты уменьшился в 8,6 раза, что согласовывается с нашими данными общего снижения концентрации пестицидов этой группы в прибрежных районах Черного моря. Пул $ΣПХБ_6$ в воде бухты снизился не так значительно – всего в 1,5 раза.

Доля ΣДДТ и $ΣПХБ_6$, поступивших со стоком р. Черной в зимний сезон 2020 г., в общем пуле составила 3,9 и 12,4% соответственно. Если принять условие стационарности выноса ΣДДТ и $ΣПХБ_6$, то в год он составит 7,56 и 165,42 г/год или 23 и 74% от пула в бухте соответственно. Таким образом, предварительные расчеты относительного вклада ХОС, выносимых с потоком р. Черной, в общее содержание их в Севастопольской бухте показали, что три четверти годового поступления $ΣПХБ_6$ в бухту происходит со стоком реки, тогда как три четверти массы ΣДДТ в последние годы попадает в бухту из других источников.

Заключение

В ходе работы впервые было проведено одновременное комплексное обследование воды и объектов водной флоры и фауны р. Черной на содержание ХОС в зимний сезон 2020 г. В природе аналогов изучаемых ХОС не существует, они, как вещества целенаправленного промышленного синтеза, являются индикаторами техногенного загрязнения реки. Появление в воде и гидробионтах р. Черной хлорорганических токсикантов является откликом экосистемы реки на антропогенную деятельность непосредственно на реке и на её водосборной площади. По величине суммарного показателя загрязнения ХОС по сравнению со средним течением реки более техногенно нагруженной вода оказалась в устьевом участке. По отношению к ПДК в воде акваторий культурно-бытового и рыбо-хозяйственного использования не отмечено превышения нормативных значений, что свидетельствует о высоком качестве воды одного из основных ресурсов питьевого водоснабжения г. Севастополя в отношении данных токсикантов. Однако даже такие невысокие концентрации ХОС в воде приводят к заметному загрязнению гидробионтов, обитающих в экосистеме реки. Определены уровни накопления ХОС водорослями, высшими водными растениями и моллюсками в среднем течении реки и в устьевом участке. Установлены межвидовые различия в накоплении ХОС в гидрофитах реки. Наибольшие $К_н$, достигающие $6 \cdot 10^4$, оказались у укореняющихся высших водных растений *Potamogeton* spp. Высокие коэффициенты накопления ХОС дают основание использовать водоросли и высшие растения в качестве тест-объектов для мониторинга ДДТ и ПХБ в речной воде.

Моллюски, как и гидрофиты из р. Черной, являются биологическим фильтром для поступающих в воду малорастворимых, липофильных ХОС. В мягких тканях мидий и устриц $К_н$ ХОС достигали высоких значений, равных $7 \cdot 10^3$, что, соответственно, обуславливает существенное снижение их концентрации в воде.

Определен вынос ХОС в Севастопольскую бухту с потоком р. Черной в зимний сезон. На масштабе двух месяцев изменчивость стока ХОС зависела в основном от степени загрязненности реки.

Работа выполнена по теме ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (АААА-А18-118020890090-2) при финансовой поддержке РФФИ по гранту «Балансовое изучение влияния стока р. Черной на эвтрофикацию и загрязнение Севастопольской бухты антропогенными радионуклидами, тяжелыми металлами и хлорорганическими ксенобиотиками» (АААА-А20-120013090118-8).

Авторы благодарят с.н.с., к.б.н. Миронову Н.В. за определение видов гидрофитов и с.н.с., к.б.н. Пиркову А.Н. за определение видов двустворчатых моллюсков.

Список литературы

1. Малахова Л.В., Егоров В.Н., Малахова Т.В. Хлорорганические соединения в компонентах экосистем Севастопольских бухт, морской акватории природного заповедника «Мыс Мартьян» и Ялтинского порта // Вода: химия и экология. 2019. № 1–2. С. 57–62.

2. Малахова Л.В., Скуратовская Е.Н., Малахова Т.В., Болтачев А.Р., Лобко В.В. Хлорорганические соединения в ерше *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 в акватории Севастополя (Чёрное море): пространственное распределение и биологический отклик на уровень накопления загрязнителей // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3. № 4. С. 51–63. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.4.06

3. Егоров В.Н., Гулин С.Б., Малахова Л.В., Мирзоева Н.Ю., Поповичев В.Н., Терещенко Н.Н., Лазоренко Г.Е., Плотицына О.В., Малахова Т.В., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г., Стецюк А.П., Гулина Л.В., Марченко Ю.Г. Биогеохимические характеристики седиментационного самоочищения Севастопольской бухты от радионуклидов, ртути и хлорорганических загрязнителей // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3. № 2. С. 40–52. DOI: 10.7868/S032105961802008.

4. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/902068765 (дата обращения: 08.05.2020).

5. Овсяный Е.И., Орехова Н.А. Гидрохимический режим р. Черной (Крым): экологические аспекты // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34. № 1. С. 82–94. DOI: 10.22449/0233-7584-2018-1-82-94.

6. Совга Е.Е., Хмара Т.В. Зимние паводки на реке Черная как источник поступления биогенных элементов в кутовую часть Севастопольской бухты // Моря России: фундаментальные и прикладные исследования: тезисы докладов Всероссийской научной конференции (Севастополь, 23–28 сентября 2019 г.). Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2019. С. 275–277.

7. ПНД Ф 14.1:2: 3:4.204-04 Методика измерений массовых концентраций хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии (издание 2018 г.) [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/551152549 (дата обращения: 08.05.2020).

8. Кондратьев С.И. Исследование гидрохимической структуры р. Черной (Крым) в 2006–2011 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2014. № 28. С. 176–185.

9. Livingstone D.R., Chipman J.K., Lowe D.M., Minier C., Pipe R.K. Development of biomarkers to detect the effects of organic pollution on aquatic invertebrates: recent molecular, genotoxic, cellular and immunological studies on the common mussel (*Mytilus edulis* L.) and other mytilid // International Journal of Environment and Pollution. 2000. 13. № 1–6. P. 56–91. DOI: 10.1504/IJEP.2000.002311

10. Временные методические рекомендации по расчету выноса органических, биогенных веществ, пестицидов и микроэлементов речным стоком. М.: Гидрометеоиздат, 1983. 32 с.

11. Миньковская Р.Я. Геофизическая характеристика устьевой области реки Чёрной (Севастопольский регион) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. № 17. С. 194–214.

ОБЗОРЫ

УДК 576.08

РОЛЬ МИКРОГЛИАЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ В МОДУЛЯЦИИ НЕЙРОГЕНЕЗА ВО ВЗРОСЛОМ МОЗГЕ

Патлай Н.И., Сотников Е.Б., Тучина О.П.

Лаборатория синтетической биологии, Институт живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, e-mail: otuchina@kantiana.ru

Долгое время считалось, что нервная и иммунная системы мало взаимодействуют, что мозг – это своего рода иммунопривилегированный орган. Однако исследования показывают, что между мозгом и иммунной системой происходит интенсивный обмен сигнальными молекулами, иммунными медиаторами, которые опосредуют влияние внешних факторов и способны модулировать процессы нейрональной пластичности. Особый интерес представляет нейрогенез – процесс генерирования новых нейронов в субвентрикулярной зоне желудочков мозга и в зубчатой извилине гиппокампа. Цель настоящего обзора – рассмотреть фенотипы микроглиальных клеток M0, M1, M2 и роль выделяемых микроглией цитокинов, в частности ФНО-α, ИЛ-1β, ИЛ-4, ИЛ-6, ИЛ-10, ИЛ-13, в процессах пролиферации и дифференциации нервных стволовых клеток во взрослом мозге. Исследования показывают, что микроглиальные клетки регионально гетерогенны и активация различными агентами приводит к уникальным паттернам экспрессии цитокинов. Более того, действие цитокинов на стволовые клетки зависит от их концентрации, от экспрессии специфических рецепторов, от стадии дифференциации клеток и микроокружения нейрогенных ниш. Эти данные свидетельствуют о необходимости пересмотра существующей концепции микроглиальных фенотипов, а также роли воспалениеподобных процессов в механизмах нейрональной пластичности.

Ключевые слова: микроглия, **воспаление**, **цитокины**, **нейрогенез**

THE ROLE OF MICROGLIAL CYTOKINES IN THE MODULATION OF NEUROGENESIS IN THE ADULT BRAIN

Patlay N.I., Sotnikov E.B., Tuchina O.P.

Laboratory of Synthetic Biology, School of Life Sciences, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: otuchina@kantiana.ru

For a long time it was considered that the nervous and immune systems interact little, that the brain is a kind of immune privileged organ. However, studies show that between the brain and the immune system there is an intensive exchange of signaling molecules, immune mediators, which mediate the influence of external factors and are able to modulate the processes of neuronal plasticity. Of particular interest is neurogenesis – the process of generating new neurons in the subventricular zone of the ventricles of the brain and in the dentate gyrus of the hippocampus. The purpose of this review is to consider the phenotypes of microglial cells M0, M1, M2 and the role of cytokines secreted by microglia, in particular, TNF-α, IL-1β, IL-4, IL-6, IL-10, IL-13, in proliferation and differentiation of nerve stem cells in the adult brain. Studies show that microglial cells are regionally heterogeneous and activation by various agents leads to unique patterns of cytokine expression. Moreover, the effect of cytokines on stem cells depends on their concentration, on the expression of specific receptors, on the stage of cell differentiation and the microenvironment of neurogenic niches. These data indicate the need to revise the existing concept of microglial phenotypes, as well as the role of inflammation-like processes in the mechanisms of neuronal plasticity.

Keywords: microglia, inflammation, cytokines, neurogenesis

Нейрогенез во взрослом мозге млекопитающих – это процесс генерирования новых нейронов, часть из которых функционально интегрируется в существующие нейрональные сети. Маркировка делящихся клеток нуклеотидными аналогами, а также использование антител на маркеры пролиферации и разных стадий дифференциации в сочетании с конфокальной микроскопией позволили идентифицировать появление новых нейронов во взрослом мозге грызунов. Активный нейрогенез у крыс и мышей происходит в субгранулярной зоне зубчатой извилины гиппокампа и в субвентрикулярной зоне боковых желудочков мозга, откуда молодые нейроны мигрируют в обонятельные луковицы. Между этими областями существуют различия, в частности в дифференцировании подтипов нейронов и процессах миграции [1]. Известно, что уровень нейрогенеза в гиппокампе изменяется под воздействием различных факторов, например содержания животных в условиях обогащенной среды [2], наличия инфекционных агентов [3] или хронического стресса [4], однако конкретные молекулярные механизмы этих изменений остаются предметом дискуссий. В последнее время активно исследуется связь нервной и иммунной систем, и в частности процессы нейровоспаления [3; 5; 6]. Центральная нервная система долгое время считалась иммунологически привилегированной благодаря наличию гематоэнцефалического барьера

(ГЭБ), однако на сегодняшний день известно, что через ГЭБ происходит сложное динамическое взаимодействие между кровью и нервной тканью. Perez-Dominguez с соавт. (2019) продемонстрировали, что моделирование периферического воспаления с помощью интраперитонеального введения бактериального липополисахарида (ЛПС) существенно снижает уровень нейрогенеза в гиппокампе мышей [3], а инъекции ЛПС непосредственно в CA1 регион гиппокампа крыс приводят к нарушению некоторых форм памяти [7]. Так как ЛПС плохо проникает через ГЭБ [8], вероятно, что эффект обеспечивается образованием вторичных посредников эндотелиальными и/или глиальными клетками, в особенности микроглией. Также исследования показывают, что при введении ЛПС происходит активация нейронов в дорсальном вагальном комплексе в продолговатом мозге [9; 10], откуда информация о состоянии иммунной системы может передаваться далее в голубое пятно, вентральную область покрышки, ядра гипоталамуса [11] и, возможно, гиппокамп. Локальную концентрацию иммунных медиаторов поддерживают глиальные клетки.

Фенотипы микроглиальных клеток

Известно, что микроглия регулирует уровень про- и антивоспалительных цитокинов в нервной ткани, а также выживаемость недавно сформированных нейронов [12]. Различают три основных фенотипа микроглиальных клеток: M0, M1 и M2 [13]. Фенотип M1 характеризуют как провоспалительный, так как для клеток характерно выделение фактора некроза опухолей-α (ФНО-α), интерлейкинов 1β и 6 (ИЛ-1β, ИЛ-6), фенотип M2 – как противовоспалительный, так как клетки выделяют ИЛ-10 и нейротрофические факторы, способствующие восстановлению ткани, в то время как M0 представляет собой микроглию «в состоянии покоя» [14; 15]. Переход из одного фенотипа в другой называют поляризацией микроглии по тому или иному типу. Предполагают, что в здоровом мозге микроглия находится в состоянии покоя (M0) и инфильтрация в нервную ткань макрофагов и других иммунных клеток минимальна или не происходит вовсе. В случае появления паттернов, ассоциированных с повреждением ткани (DAMPs), как, например, при травме мозга, или же паттернов, ассоциированных с патогенами (PAMPs), в случае проникновения инфекции происходит поляризация микроглии по фенотипу M1 – провоспалительному, а также инфильтрация в нервную ткань макрофагов. По мере развития воспалительного ответа происходит альтернативная поляризация – в фенотип M2, когда функции микроглии меняются с первичного иммунного ответа на выделение нейротрофических факторов и восстановление ткани и затем – возвращение в M0.

Несмотря на широкое распространение концепции M0/M1/M2, принятой также для периферических макрофагов, некоторые исследователи выступают против разделения микроглии на универсальные фенотипы, так как морфология и функции микроглиальных клеток могут различаться в зависимости от конкретного патологического состояния [16]. Фенотип микроглии определяет множество факторов, например содержание миелина, особенности строения сосудов, компоненты внеклеточного матрикса, наличие нейромедиаторов [17]. Так, в гиппокампе наблюдается высокая по сравнению с другими регионами мозга плотность глиальных клеток [18], при этом микроглия имеет пониженный уровень экспрессии CD45 и повышенный уровень F4/80 по сравнению с микроглиальными клетками в мозжечке и спинном мозге, повышенный уровень экспрессии ФНО-α и рецепторов CD4 и CD16 по сравнению с клетками из промежуточного мозга, мозжечка и коры головного мозга [19], пониженный уровень экспрессии CD80 по сравнению с микроглией из церебральной коры [20]. Следовательно, микроглиальные клетки обладают региональной гетерогенностью подобно нейронам и астроцитам [21], и их однозначная классификация на фенотипы затруднена. В исследовании на мышах обнаружено, что микроглиальные клетки экспрессируют 9 типов Toll-подобных рецепторов (TLR1-9), причем стимуляция ЛПС в культуре значительно повышает уровень мРНК TLR2, TLR4, TLR6, TLR8 и TLR9 [22]. Стимуляция различными агонистами приводила к уникальному профилю экспрессии цитокинов (спустя 24 часа после воздействия): в случае ЛПС значительно увеличивался уровень мРНК ИЛ-1β, ИЛ-6, ИЛ-12, ФНО-α, а также интерферонов-α и -γ и (ИФН-α и ИФН-γ) и синтазы оксида азота, в случае активации пептидогликаном – мРНК ИЛ-1β, ИЛ-6, ИЛ-12, ИЛ-18, ФНО-α, ИФН-β и синтазы оксида азота, в случае же активации полиинозин-полицитидиловой кислотой – мРНК ИЛ-1β, ИЛ-6, ИЛ-12 и ИФН-β [22]. Таким образом, фенотип микроглии, определенный во всех вышеперечисленных случаях, можно охарактеризовать как провоспалительный M1, однако профиль экспрессии цитокинов все же различается. Более того, применение анестетиков оказывает

влияние на экспрессию некоторых интерлейкинов глиальными клетками, что затрудняет оценку воспалительного статуса в экспериментах *in vivo*. Tanaka с соавт. (2013) продемонстрировали, что применение изофлюрана существенно снижает уровень мРНК и белка ИЛ-1β в коре и гипоталамусе мышей, которым предварительно интраперитонеально вводили ЛПС [23]. В экспериментах на клеточных культурах микроглии и астроцитов также показано статистически значимое снижение экспрессии ИЛ-1β при инкубировании с ЛПС в комбинации с анестетиками (изофлюран, кетамин, пентобарбитал). Интересно, что на уровни экспрессии ИЛ-6 и ФНО-α протестированные анестетики не оказывали влияния. Однако следует заметить, что во многих исследованиях об уровне цитокинов судят исключительно по присутствию мРНК, в то время как наличие мРНК цитокина еще не гарантирует образование белка [24], и регуляция трансляции может происходить посредством эпигенетических механизмов, многие из которых еще мало изучены. Трудности в однозначном определении фенотипов микроглии привели к их дальнейшему дроблению. Так, противовоспалительный фенотип М2 было предложено разделить на М2a, М2b М2c и М2d в зависимости от экспрессии маркеров и выделяемых микроглиальными клетками цитокинов (таблица) подобно макрофагам в других тканях [25].

Существует предположение, что в здоровом мозге «покоящееся» состояние микроглии обеспечивается ингибирующим действием нейронов [28]. Нейроны взаимодействуют с микроглией через непосредственный контакт мембран, различные растворимые факторы, а также посредством внеклеточных везикул. Мембранозависимый контакт обеспечивается прежде всего CD200, CD172a, CD47 и фракталкиновым сигналингом CX3CL1-CX3CR1. Абнормальности в нейрональном белке CD200 обнаружены при некоторых нейродегенеративных заболеваниях, для которых также характерна М1 поляризация микроглии [29]. Видимо, в этом случае происходит нарушение непосредственного контакта между микроглией и нейронами. Растворимые сигнальные молекулы включают CD34, CSF-1, АТФ, УДФ, глутамат, ГАМК, норадреналин, а также, возможно, серотонин и другие нейротрансмиттеры. В случае нарушения функционирования нейронов происходят изменения нейротрансмиттерной сигнализации, что является для микроглиальных клеток своеобразным паттерном, ассоциированным с повреждением (DAMPs). Внеклеточные везикулы представляют собой особый и еще мало изученный способ взаимодействия между клетками нервной ткани. В таких везикулах в инкапсулированном состоянии могут транспортироваться по внеклеточному пространству мРНК, микроРНК, липиды, а также цитокины (например, ФНО-α, ИЛ-1β, ИЛ-10) [30]. Везикулы, выделяемые астроцитами и микроглией «в покое», обогащены микроРНК, ассоциированными с нейротрофическими факторами, а в случае активированной глии – регулирующими воспаление цитокинами [31].

Фенотипы микроглиальных клеток и их предполагаемые функции [25–27]

Фенотип	Маркеры	Стимуляция	Предполагаемые функции
M0	Iba1, F4/80, CD68low, CD11bhi, CD45low	Ингибирующее действие нейронов?	«Состояние покоя». Поддержание гомеостаза в нервной ткани
M1	Iba1, CD86, CD40, MHCII, NO, ROS, iNOS, MPP3, MPP9, PG, ИЛ-1β, ИЛ-6, ФНО-α, ИЛ-12, ИЛ-17, ИЛ-18	ЛПС, ИФН-γ, ФНО-α	Развитие иммунного ответа в ответ на DAMPs и PAMPs
M2a	CD206, Ym1, ARG1, FIZZ1, ИЛ-4, ИЛ-10, ИЛ-13, ИЛ-1R, BDNF	ИЛ-4, ИЛ-13	Модуляция иммунного ответа, стимуляция Т-хелперов 2, синтеза компонентов внеклеточного матрикса
M2b	CD86, CD16, CD64, CD32, CD16, MHCII, COX-2, SPHK1, ИЛ-6, ИЛ-10, ФНО-α, ИЛ-1R	ЛПС	Модуляция иммунного ответа, стимуляция Т-хелперов 2, синтеза компонентов внеклеточного матрикса
M2c	CD163, CCL16/HCC-4, CCL18/PARC, CXCL13/BLC/, CA-1, SPHK1, ТРФ-β, ИЛ-10, ИЛ-4Rα	ИЛ-10, ТРФ-β1, глюкокортикоиды	Модуляция иммунного ответа, стимуляция Т-хелперов 2, синтеза компонентов внеклеточного матрикса
M2d	ИЛ-10, ИЛ-12, ТРФ-β, VEGFa	Агонисты аденозинового рецептора A2A	Модуляция иммунного ответа, стимуляция Т-хелперов 2, восстановление повреждений, ангиогенез

Инициацию и распространение воспалительных процессов в нервной ткани ассоциируют с выделением растворимых факторов, однако большинство из этих факторов находят и в инкапсулированном состоянии как в глиальных клетках, так и во внеклеточном пространстве в нервной ткани. Предполагается, что концентрация цитокинов, непосредственно выделяемых глиальными клетками во внеклеточное пространство, намного выше, чем инкапсулированных в везикулы, однако последние транспортируются направленно к клеткам-мишеням. Механизмы транспорта до конца не ясны, и возможно, что определенную роль в передвижении везикул на небольшие расстояния играют компоненты внеклеточного матрикса, которые, как известно, регионально гетерогенны. Мембраны везикул, выделяемых микроглией, могут содержать пуриновые рецепторы, в частности P2X7R [32], и, таким образом, выделение АТФ клетками-мишенями стимулирует выброс карго из везикул. Профиль везикулярных цитокинов модулируется в случае стимуляции ЛПС [30] или АТФ [33]. Исследования показывают, что при активации ЛПС микроглиальные клетки выделяют везикулы с ИЛ-1β и микроРНК-155 [34], а также ФНО-α и ИЛ-6 [35]. Что является мишенью этих везикул? Вполне возможно, что в первую очередь мишенью являются сами глиальные клетки, чем и обеспечивается поддержание локального уровня цитокинов при развитии нейровоспаления. Однако целью выделяемых микроглией растворимых факторов и везикул могут быть и нервные стволовые клетки (НСК) нейрогенных ниш.

Цитокины и нейрогенез

Активация микроглии ЛПС и другими агентами приводит к формированию фенотипа М1 и выделению провоспалительных цитокинов, таких как ФНО-α, ИЛ-1β, ИЛ-6 [26; 27]. ФНО-α является ранним медиатором воспаления, и в здоровом мозге, как правило, его концентрация поддерживается на низком уровне. Повышение концентрации ФНО-α наблюдается после травм или ишемии, а также при бактериальных, вирусных инфекциях и рассеянном склерозе [36]. В модели диабетической нейропатии, индуцированной стрептозотоцином и диетой с высоким содержанием жиров и сахара, высокая концентрация ФНО-α оказывает прямое токсическое воздействие на миелиновую оболочку зрелых нейронов [37]. НСК в культуре экспрессируют оба типа рецепторов ФНО: TNF-R1 и TNF-R2 [38]. Iosif с соавт. (2006) показали, что у TNF-R1(-/-) мышей наблюдается существенное увеличение уровня пролиферации клеток в зубчатой извилине гиппокампа, при этом у TNF-R2(-/-) мышей подобных изменений не происходило, либо они были незначительными [39]. Активация TNF-R1 предположительно приводит к остановке деления и/или гибели НСК, в то время как роль TNF-R2 является предметом дискуссий. Возможно, активация TNF-R2 оказывает нейропротекторный эффект, способствуя выживанию нейрональных предшественников на более поздних стадиях дифференциации. Bernardino с соавт. (2008), используя разные концентрации ФНО-α в культуре НСК и нейрональных предшественников из субвентрикулярной зоны мозга, пришли к выводу, что ФНО-α в концентрации 1 нг/мл стимулирует пролиферацию НСК, в то время как 10 и 100 нг/мл приводят к апоптозу клеток [40]. Интересно, что, используя антитела, специфичные к TNF-R1 и TNF-R2, авторы установили, что эффект обеспечивается взаимодействием ФНО-α с TNFR1. В исследованиях in vitro было показано, что при активации микроглии ЛПС происходит выделение ФНО-α, который является необходимым и достаточным фактором для индуцирования апоптоза НСК [41]. Guadagno с соавт. (2013) продемонстрировали, что стимуляция апоптоза происходит через активацию митохондриального сигнального пути, который регулируется белком Bax из семейства Bcl-2. ФНО-α индуцирует экспрессию белка Puma (BH3) в НСК через сигнальный каскад NF-κB, который обычно активируется при развитии воспалительных процессов. В культуре Puma-дефицитных НСК апоптоза не наблюдалось [41]. Chen и Palmer (2013), исследуя влияние ФНО-α на пролиферацию и нейрогенез in vivo, пришли к выводу, что конкретный эффект цитокина зависит от стадии дифференциации клетки, и сигнализация через TNF-R2 оказывает нейропротекторный эффект [42]. Последние исследования с использованием ингибиторов ФНО XPro1595 и этанерцепт и ФНО−/− мышей продемонстрировали, что дефицит ФНО приводит к изменению клеточного состава неокортекса, а также строения нейрогенных ниш [43]. Yli-Karjanmaa с соавт. (2019) показали, что у ФНО−/− мышей существенно снижена экспрессия белков FZD6 и CTHRC1 из сигнального каскада Wnt, чем, вероятно, и объясняется снижение числа пролиферирующих клеток в нейрогенных нишах во время развития. Более того, в развивающемся неокортексе наблюдалось значительное снижение числа микроглиальных клеток и увеличение числа нейронов, что, вероятно, является резуль-

татом снижения уровня микроглиального фагоцитоза. Сложность в интерпретации роли ФНО в развивающемся и зрелом мозге ФНО−/− мышей обусловлена также наличием двух его форм: растворимого (solTNF) и трансмембранного (tmTNF), а также гомологов ФНО-α (TNF), ФНО-β (LTA) и ФНО-γ (LTB), которые предположительно имеют схожие функции при развитии воспаления и иммунного ответа, но их роль в процессах пролиферации НСК и нейрогенезе еще не установлена. Предполагается, что ФНО-α сначала образуется в форме трансмембранного фактора, который затем подвергается протеолизу с образованием растворимой формы. TNF-R1, экспрессируемый практически всеми клетками, может активироваться растворимым и трансмембранным ФНО, с предпочтением к растворимому, в то время как TNF-R2 экспрессируется на микроглиальных и эндотелиальных клетках и активируется трансмембранным ФНО [44]. Yli-Karjanmaa с соавт. (2019) предположили, что существенную роль в регулировании фагоцитоза нейробластов также может играть белок Lpl, который является важным регулятором фагоцитоза во время иммунного ответа [45]. В физиологических условиях в гиппокампе детектируется высокая экспрессия *Lpl*, в особенности в микроглиальных клетках, в то время как у ФНО−/− мышей его экспрессия существенно ниже [43]. Harms с соавт. (2012) показали, что действие ингибиторов ФНО на микроглию снизило уровень solTNF и цитотоксический эффект на нейроны. При активации ФНО−/− микроглиальных клеток ЛПС in vitro происходило существенное снижение уровней выделяемых ИЛ-1β, ИЛ-6, ИЛ-10, ИЛ-12, а также CXCL1, при этом цитотоксического эффекта не наблюдалось [46].

ИЛ-1β представляет собой провоспалительный цитокин, секретируемый макрофагами и микроглией в неактивной форме в виде белка-предшественника, который затем расщепляется каспазой-1 или металлопротеазами внеклеточного матрикса (MMPs) и активирует рецепторы IL-1RI и IL-1RII. MMP2, MMP3 и MMP9 преобразуют ИЛ-1β в активную форму с разной скоростью – от нескольких минут (MMP9) до 24 часов (MMP2) [47]. Экспрессия MMP9 в гиппокампе значительно повышается в случае травмы, развития патологических процессов, а также, что интересно, при индукции долговременной потенциации (ДВП) в CA1 [48], что служит доказательством участия иммунных клеток и выделяемых ими молекул в процессах нейрональной пластичности. Cunningham с соавт. (1992) показали, что гранулярные клетки зубчатой извилины гиппокампа, ядра шва и хороидные сплетения демонстрируют наиболее высокие уровни экспрессии мРНК IL-1RI по сравнению с другими регионами мозга [49]. НСК в гиппокампе экспрессируют IL-1RI in vivo и реагируют на добавление ИЛ-1β in vitro остановкой клеточного цикла [50]. Wu с соавт. (2012), используя трансгенных мышей IL-1β(XAT) с хронически высокой экспрессией ИЛ-1β, показали, что у животных происходит значительное снижение уровня нейрогенеза, судя по количеству DCX+ клеток в зубчатой извилине гиппокампа, а также нарушение некоторых форм памяти [51]. Интересно, что нокаут гена *MyD88*, продукт которого необходим для осуществления сигнального пути ИЛ-1β в Nestin+ НСК гиппокампа, не оказывал эффекта на уровень нейрогенеза [52]. Действие ИЛ-1β на IL-1RI приводит также к активации астроцитов, выделению глиальными клетками хемокинов и привлечению лейкоцитов в нервную ткань [53], что предположительно негативно сказывается на уровне нейрогенеза. Исследования Crampton с соавт. (2012) показали, что IL-1RI экспрессируется в культуре Nestin+ Sox2+ НСК, приготовленной из эмбрионального мозга крыс, воздействие ИЛ-1β в концентрации 10 нг/мл значительно снижает пролиферацию НСК, и этот эффект может быть предотвращен использованием антагониста рецептора. Однако интересно, что снижение количества пролиферирующих клеток, вероятно, происходило не из-за апоптоза, а в результате стимуляции дифференциации [54]. Дальнейшие исследования показали, что ИЛ-1β ингибирует пролиферацию НСК и дифференциацию в нейроны, при этом стимулируя глиогенез через сигнальный путь p38-MAPK. Park с соавт. (2018) в экспериментах на культурах из эмбриональных НСК крысы продемонстрировали, что ИЛ-1β в концентрации 10 нг/мл оказывает нейрогенный эффект, а именно увеличивает экспрессию нейтротрофина-3, нейрогенина-1 и Wnt5a, также стимулируя рост нейритов [55]. Возможно, что конкретный эффект цитокина зависит от стадии дифференциации клеток и/или микроокружения, то есть региона мозга. Эксперименты Crampton с соавт. (2012) и Park с соавт. (2018) проводились на НСК, выделенных из 14-дневных эмбрионов крыс, однако использовались разные регионы мозга: средний мозг и церебральная кора соответственно. Также возможно, что экспериментальные условия могли отличаться, в частности состав питательной среды или время инкубации.

Другой провоспалительный цитокин, выделяемый микроглией при поляризации

по фенотипу М1, это ИЛ-6. ИЛ-6 присоединяется к мембранному рецепторному комплексу, состоящему из компонента IL-6Rα (CD126) и CD130. ИЛ-6 также может активировать растворимый рецептор – sIL-6R. Islam с соавт. (2009) показали, что ИЛ-6 может оказывать как нейро-, так и глиогенный эффект на культуру эмбриональных НСК мышей через сигнальные пути MAPK/CREB и STAT-3 соответственно [56]. Эксперименты на культурах НСК, приготовленных из областей латеральных желудочков постнатального мозга мышей, показали, что ИЛ-6 стимулирует пролиферацию стволовых клеток и в случае нокаута рецептора наблюдается существенное снижение количества НСК в переднем мозге [57]. Более того, Storer с соавт. (2018) показали, что повышение уровня циркулирующего ИЛ-6 у новорожденных или взрослых мышей приводит к резкому усилению пролиферации НСК и в результате – к исчерпанию запасов стволовых клеток. Последние исследования показывают, что ингибирующий эффект ИЛ-6 на нейрогенез обеспечивается активацией сигнальных путей JAK2/STAT3 [58].

Согласно исследованиям, по мере развития иммунной реакции поляризация микроглии меняется на М2 – фенотип, обобщенно называемый противовоспалительным. Для М2 характерно выделение ИЛ-10 [26; 27], который активирует рецепторный комплекс, состоящий из двух субъединиц IL-R1 и двух – IL-R2, запуская тем самым сигнальные каскады JAK и STAT3. Некоторые исследователи рассматривают роль ИЛ-10 как одного из ключевых регуляторов развития воспаления и восстановления гомеостаза [59]. В частности, сигнализация ИЛ-10 приводит к снижению экспрессии MHC-II и, таким образом, – активности антиген-презентирующих клеток, а также снижению экспрессии провоспалительных цитокинов микроглией. Perez-Asensio с соавт. (2013), изучая процессы нейрогенеза в субвентрикулярной зоне во взрослом мозге грызунов, показали, что IL-10R экспрессируется в Nestin+ НСК только дорсальной части латеральных желудочков, при этом ИЛ-10 обеспечивает поддержание пула стволовых клеток, то есть их симметричное деление подобно ИЛ-6 [58]. Под действием ИЛ-10 в Nestin+ НКС наблюдалась повышенная экспрессия Nestin, Sox1, Sox2, Musashi, Mash1 и пониженная экспрессия про-нейрональных маркеров Numb, DCX и TUBB3 [60]. В отсутствии ИЛ-10 в модели in vivo Perez-Asensio с соавт. (2013) наблюдали активацию нейрогенеза, то есть более активную дифференциацию НСК в нейроны. Pereira с соавт. (2015) продемонстрировали, что in vitro и in vivo ИЛ-10 действует на НСК субвентрикулярной зоны через фосфорилирование ERK и STAT3, стимулируя пролиферацию НСК и увеличение пула стволовых клеток, подавляя их дифференциацию [61]. ИЛ-10 также обладает свойствами фактора роста и способствует выживанию дифференцирующихся нейронов через взаимодействие с регуляторами апоптоза Bcl-2 и Bcl-XL [59]. Воздействие глио- и нейротрансмиттеров на микроглиальные клетки может способствовать повышению экспрессии ИЛ-10, как, например, в случае действия на микроглию глутамата, аденозина и АТФ. Агонисты аденозинового рецептора A2A стимулируют поляризацию микроглии по типу M2d [25–27]. Более того, ИЛ-10 снижает фагоцитарную активность микроглии, так как введение ИЛ-10 мышам с моделированной болезнью Альцгеймера приводит к более активному накоплению β-амилоида. Возможно, со снижением фагоцитарной активности связан также и эффект ИЛ-10 на выживаемость дифференцирующихся нейронов. Воздействие ИЛ-4 и ИЛ-13 на микроглию может способствовать поляризации по типу М2 [62]. Orihuela с соавт. (2016) показали, что ИЛ-4 индуцирует переход микроглиальных клеток в фенотип М2, при этом наблюдается удлинение и увеличение диаметра аксонов нейронов в областях, где находится М2-микроглия [63]. Таким же свойством обладает и ИЛ-13, который может взаимодействовать с рецепторами ИЛ-4. При совместном культивировании микроглиальных клеток с ИЛ-4 возрастает уровень секреции микроглией инсулиноподобного фактора роста 1 (ИФР-1). Кроме антиапоптотического эффекта, ИФР-1 уменьшает длину фазы G1 в клеточном цикле НСК и увеличивает время повторного входа НСК в клеточный цикл, стимулируя, таким образом, пролиферацию стволовых клеток. Butovsky с соавт. (2006) продемонстрировали, что активация микроглиальных клеток мыши при помощи ИЛ-4 и интерферона-γ (ИФН-γ) способствует глиогенным и нейрогенным эффектам соответственно [64]. А именно, при культивировании НСК совместно с микроглией, активированной ИЛ-4, наблюдается дифференциация стволовых клеток преимущественно в олигодендроциты, в то время как при культивировании НСК вместе с микроглией, активированной небольшой концентрацией ИФН-γ, НСК дифференцируются в нейроны. Предполагается, что нейро- или глиогенный эффект связан с уменьшением продукции провоспалительных цитокинов ФНО-α и ИЛ-1β микроглией, в то время как производство противовоспалительных

цитокинов и факторов роста повышается. При этом во многих исследованиях показано, что ИФН-γ способствует поляризации микроглии по типу М1, но, быть может, существенную роль играет концентрация и присутствие других цитокинов.

Заключение

Таким образом, в современной литературе микроглиальные клетки классифицируют подобно остальным макрофагам по фенотипам М0, М1 и М2, при этом для каждого фенотипа характерно выделение определенных цитокинов с хорошо известными в иммунной системе функциями – про- или противовоспалительными. Однако в отношении влияния этих цитокинов на нейрогенез и нейрональную пластичность в принципе стоит избегать однозначных выводов. Во-первых, исследования показывают, что микроглиальные клетки регионально гетерогенны, а значит их фенотипы и/или динамика изменений фенотипов могут существенно отличаться, например в гиппокампе и стволе мозга. Во-вторых, показано, что активация микроглиальных клеток различными агентами приводит к уникальным паттернам экспрессии цитокинов. В-третьих, действие цитокинов на НСК зависит от концентрации, от экспрессии специфических рецепторов, от стадии дифференциации клеток, микроокружения нейрогенных ниш (например, компонентов внеклеточного матрикса) и, возможно, ряда других факторов, таких как присутствие других цитокинов. Так, в малых концентрациях провоспалительный цитокин ФНО-α может стимулировать пролиферацию НСК, а в больших концентрациях, действуя на TNFR1, приводит к апоптозу стволовых клеток. При этом связывание ФНО-α с TNFR2 оказывает нейропротекторный эффект. ИЛ-1β снижает пролиферацию НСК, но не за счет апоптоза, а предположительно вследствие их дифференциации в глиальные клетки. Однако есть исследования, демонстрирующие стимуляцию нейрогенеза под действием ИЛ-1β. ИЛ-6 стимулирует пролиферацию НСК и может способствовать исчерпанию запасов стволовых клеток, при этом показан как глио-, так и нейрогенный эффект. ИЛ-10 стимулирует пролиферацию НСК, подавляет нейрональную дифференциацию, а также поддерживает выживаемость дифференцирующихся нейронов, вероятно, отчасти за счет снижения микроглиального фагоцитоза при поляризации по типу М2. ИФН-γ в небольших концентрациях стимулирует дифференциацию НСК в нейроны, в то время как подавляющее большинство исследований свидетельствует о его роли в поляризации микроглии М1, то есть перехода микроглиальных клеток в провоспалительный фенотип. Эти данные свидетельствуют о необходимости пересмотра существующей концепции ригидности микроглиальных фенотипов, а также роли воспалениеподобных процессов в механизмах нейрональной пластичности.

Список литературы

1. Ming G.L., Song H. Adult neurogenesis in the mammalian brain: significant answers and significant questions. Neuron. 2011. vol. 70. no. 4. P. 687–702. DOI: 10.1016/j.neuron.2011.05.001.

2. Sakalem M.E., Seidenbecher T., Zhang M., Saffari R., Kravchenko M., Wördemann S., Diederich K., Schwamborn J.C., Zhang W., Ambrée O. Environmental enrichment and physical exercise revert behavioral and electrophysiological impairments caused by reduced adult neurogenesis. Hippocampus. 2017. vol. 27. no. 1. P. 36–51. DOI: 10.1002/hipo.22669.

3. Perez-Dominguez M., Ávila-Muñoz E., Domínguez-Rivas E., Zepeda A. The detrimental effects of lipopolysaccharide-induced neuroinflammation on adult hippocampal neurogenesis depend on the duration of the pro-inflammatory response. Neural Regeneration Research. 2019. vol. 14. no. 5. P. 817–825. DOI: 10.4103/1673-5374.249229.

4. Schoenfeld T.J., McCausland H.C., Douglas Morris H., Padmanaban V., Cameron H.A. Stress and Loss of Adult Neurogenesis Differentially Reduce Hippocampal Volume. Biological Psychiatry. 2017. vol. 82. no. 12. P. 914–923. DOI: 10.1016/j.biopsych.2017.05.013.

5. Fung T.C., Olson C.A., Hsiao E.Y.. Interactions between the microbiota, immune and nervous systems in health and disease. Nature Neuroscience. 2017. vol. 20. no. 2. P. 145–155. DOI: 10.1038/nn.4476.

6. Miranda A.S., Zhang C.J., Katsumoto A., Teixeira A.L. Hippocampal adult neurogenesis: Does the immune system matter? Journal of the Neurological Sciences. 2017. vol. 372. P. 482–495. DOI: 10.1016/j.jns.2016.10.052.

7. Tanaka S., Ide M., Shibutani T., Ohtaki H., Numazawa S., Shioda S., Yoshida T. Lipopolysaccharide-induced microglial activation induces learning and memory deficits without neuronal cell deathin rats. Journal of Neuroscience Research. 2006. vol. 83. no. 4. P. 557–566. DOI: 10.1002/jnr.20752.

8. Banks W.A., Robinson S.M.. Minimal penetration of lipopolysaccharide across the murine blood-brain barrier. Brain, behavior, and immunity. 2010. vol. 24. no. 1. P. 102–109. DOI: 10.1016/j.bbi.2009.09.001.

9. Tracey K.J. The inflammatory reflex. Nature. 2002. vol. 420. no. 6917. P. 853–859. DOI: 10.1038/nature01321.

10. Тучина О.П. Нейро-иммунные взаимодействия в холинергическом противовоспалительном пути // Гены и клетки. 2020. Т. XV. № 1. С. 23–28.

11. Goehler L.E., Gaykema R.P.A., Hansen M.K., Kleiner J.L., Maier S.F., Watkins L.R. Staphylococcal enterotoxin B induces fever, brain c-Fos expression, and serum corticosterone in rats. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2001. vol. 280. no. 5. P. 1434–1439. DOI: 10.1152/ajpregu.2001.280.5.r1434.

12. Sato K. Effects of Microglia on Neurogenesis. Glia. 2015. vol. 63. no. 8. P. 1394–1405. DOI: 10.1002/glia.22858.

13. Tanaka M., Sackett S., Zhang Y. Endocannabinoid Modulation of Microglial Phenotypes in Neuropathology. Frontiers in Neurology. 2020. vol. 11. DOI: 10.3389/fneur.2020.00087.

14. Xiong X.Y., Liu L., Yang Q.W. Functions and mechanisms of microglia/macrophages in neuroinflammation and neurogenesis after stroke. Progress in neurobiology. 2016. vol. 142. P. 23–44. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2016.05.001.

15. Yuan J., Ge H., Liu W., Zhu H., Chen Y., Zhang X., Yang Y., Yin Y., Chen W., Wu W., Yang Y., Lin J.. M2 microglia promotes neurogenesis and oligodendrogenesis from neural stem/progenitor cells via the PPARγ signaling pathway. Oncotarget. 2017. vol. 8. no. 12. P. R19855–R19865. DOI: 10.18632/oncotarget.15774.

16. Masgrau R., Guaza C., Ransohoff R.M., Galea E. Should We Stop Saying «Glia» and «Neuroinflammation»? Trends in Molecular Medicine. 2017. vol. 23. no. 6. P. 486–500. DOI: 10.1016/j.molmed.2017.04.005.

17. Wolf S.A., Kettenmann H. Microglia in Physiology and Disease. Annual Review of Physiology. 2017. vol. 79. no. 1. P. 619–643. DOI: 10.1146/annurev-physiol-022516-034406.

18. Silvin A., Ginhoux F. Microglia heterogeneity along a spatio-temporal axis: More questions than answers. Glia. 2018. vol. 66. no. 10. P. 2045–2057. DOI: 10.1002/glia.23458.

19. Gyengesi E., Rangel A., Ullah F., Liang H., Niedermayer G., Asgarov R., Venigalla M., Gunawardena D., Karl T., Münch G. Chronic Microglial Activation in the GFAP-IL6 Mouse Contributes to Age-Dependent Cerebellar Volume Loss and Impairment in Motor Function. Front Neurosci. 2019. vol. 13. P. 303. DOI: 10.3389/fnins.2019.00303.

20. Doorn K.J., Brevé J.J.P., Drukarch B., Boddeke H.W., Huitinga I., Lucassen P.J., van Dam A.M. Brain region-specific gene expression profiles in freshly isolated rat microglia. Frontiers in cellular neuroscience. 2015. vol. 9. P. 84. DOI: 10.3389/fncel.2015.00084.

21. Тучина О.П., Адамовская С.С. Региональная гетерогенность астроцитов в отношении экспрессии глиального фибриллярного кислого белка и синтетазы глутамина *in vitro* // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 2. [Электронный ресурс]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=29751 (дата обращения: 01.05.2020).

22. Olson J.K., Miller S.D. Microglia Initiate Central Nervous System Innate and Adaptive Immune Responses through Multiple TLRs. The Journal of Immunology. 2004. vol. 173. no. 6. P. 3916–3924. DOI: 10.4049/jimmunol.173.6.3916.

23. Tanaka T., Kai S., Matsuyama T., Adachi T., Fukuda K., Hirota K. General Anesthetics Inhibit LPS-Induced IL-1β Expression in Glial Cells. PLoS ONE. 2013. vol. 8. no. 12. P. e82930. DOI: 10.1371/journal.pone.0082930.

24. Vogel C., Marcotte E.M. Insights into the regulation of protein abundance from proteomic and transcriptomic analyses. Nature Reviews Genetics. 2012. vol. 13. no. 3. P. 227–232. DOI: 10.1038/nrg3185.

25. Klopfleisch R. Macrophage reaction against biomaterials in the mouse model – Phenotypes, functions and markers. Acta Biomaterialia. 2016. vol. 43. P. 3–13. DOI: 10.1016/j.actbio.2016.07.003.

26. Franco R., Fernández-Suárez D. Alternatively activated microglia and macrophages in the central nervous system. Progress in Neurobiology. 2015. vol. 131. P. 65–86. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2015.05.003.

27. Wang J., Wang J., Wang J., Yang B., He Q. Targeting Microglia and Macrophages: A Potential Treatment Strategy for Multiple Sclerosis. Frontiers in Pharmacology. 2019. vol. 10. P. 286. DOI: 10.3389/fphar.2019.00286.

28. Szepesi Z., Manouchehrian O., Bachiller S., Deierborg T. Bidirectional Microglia-Neuron Communication in Health and Disease. Frontiers in cellular neuroscience. 2018. vol. 12. P. 323. DOI: 10.3389/fncel.2018.00323.

29. Xie X., Luo X., Liu N., Li X., Lou F., Zheng Y., Ren Y. Monocytes, microglia, and CD200-CD200R1 signaling are essential in the transmission of inflammation from the periphery to the central nervous system. Journal of neurochemistry. 2017. vol. 141. no. 2. P. 222–235. DOI: 10.1111/jnc.13972.

30. Fitzgerald W., Freeman M.L., Lederman M.M., Vasilieva E., Romero R., Margolis L. A System of Cytokines Encapsulated in ExtraCellular Vesicles. Scientific Reports. 2018. vol. 8. no. 1. P. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-018-27190-x.

31. Abels E.R., Breakefield X.O. Introduction to Extracellular Vesicles: Biogenesis, RNA Cargo Selection, Content, Release, and Uptake. Cellular and Molecular Neurobiology. 2016. vol. 36. no. 3. P. 301–312. DOI: 10.1007/s10571-016-0366-z.

32. Bianco F., Pravettoni E., Colombo A., Schenk U., Möller T., Matteoli M., Verderio C. Astrocyte-Derived ATP Induces Vesicle Shedding and IL-1β Release from Microglia. The Journal of Immunology. 2005. vol. 174. P. 7268–7277. DOI: 10.4049/jimmunol.174.11.7268.

33. Drago F., Lombardi M., Prada I., Gabrielli M., Joshi P., Cojoc D., Franck J., Fournier I., Vizioli J., Verderio C. ATP Modifies the Proteome of Extracellular Vesicles Released by Microglia and Influences Their Action on Astrocytes. Frontiers in Pharmacology. 2017. vol. 8. P. 910. DOI: 10.3389/fphar.2017.00910.

34. Kumar P., Abraham A. Inhibition of LPS induced pro-inflammatory responses in RAW 264.7 macrophage cells by PVP-coated naringenin nanoparticle via down regulation of NF-κB/P38MAPK mediated stress signaling. Pharmacological Reports. 2017. vol. 69. no. 5. P. 908–915. DOI: 10.1016/j.pharep.2017.04.002.

35. Yang Y., Jiang Y., Xie D., Liu M., Song N., Zhu J., Fan J., Zhu C. Inhibition of cell-adhesion protein DPYSL3 promotes metastasis of lung cancer. Respiratory Research. 2018. vol. 19. no. 1. P. 41. DOI: 10.1186/s12931-018-0740-0.

36. da Fonseca A.C.C., Matias D., Garcia C., Amaral R., Geraldo L.H., Freitas C., Lima F.R. The impact of microglial activation on blood-brain barrier in brain diseases. Frontiers in cellular neuroscience. 2014; vol. 8. P. 362. DOI: 10.3389/fncel.2014.00362.

37. Shi X, Chen Y, Nadeem L, Xu G. Beneficial effect of TNF-α inhibition on diabetic peripheral neuropathy. Journal of neuroinflammation. 2013. vol. 10. no. 1. P. 69. DOI: 10.1186/1742-2094-10-69.

38. Sheng W.S., Hu S., Ni H.T., Rowen T.N., Lokensgard J.R., Peterson P.K. TNF-alpha-induced chemokine production and apoptosis in human neural precursor cells. Journal of leukocyte biology. 2005. vol. 78. no. 6. P. 1233–1241. DOI: 10.1189/jlb.0405221.

39. Iosif R.E., Ekdahl C.T., Ahlenius H., Pronk C.J.H., Bonde S., Kokaia Z., Jacobsen S.E., Lindvall O. Tumor necrosis factor receptor 1 is a negative regulator of progenitor proliferation in adult hippocampal neurogenesis. Journal of Neuroscience. 2006. vol. 26. no. 38. P. 9703–9712. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2723-06.2006.

40. Bernardino L., Agasse F., Silva B., Ferreira R., Grade S., Malva J.O. Tumor necrosis factor-alpha modulates survival, proliferation, and neuronal differentiation in neonatal subventricular zone cell cultures. Stem Cells. 2008. vol. 26. no. 9. P. 2361–2371. DOI: 10.1634/stemcells.2007-0914.

41. Guadagno J., Xu X., Karajgikar M., Brown A., Cregan S.P. Microglia-derived TNFα induces apoptosis in neural precursor cells via transcriptional activation of the Bcl-2 family member Puma. Cell death & disease. 2013. vol. 4. no. 3. P. e538. DOI: 10.1038/cddis.2013.59.

42. Chen Z., Palmer T.D. Differential roles of TNFR1 and TNFR2 signaling in adult hippocampal neurogenesis. Brain, Behavior, and Immunity. 2013. vol. 30 P. 45–53. DOI: 10.1016/j.bbi.2013.01.083.

43. Yli-Karjanmaa M., Larsen K.S., Fenger C.D., Kristensen L.K., Martin N.A., Jensen P.T., Breton A., Nathanson L., Nielsen P.V., Lund M.C., Carlsen S.L., Gramsbergen J.B., Finsen B., Stubbe J., Frich L.H., Stolp H., Brambilla R., Anthony D.C., Meyer M., Lambertsen K.L. TNF deficiency causes alterations in the spatial organization of neurogenic zones and alters the number of microglia and neurons in the cerebral cortex. Brain, Behavior, and Immunity. 2019. vol. 82. P. 279–297. DOI: 10.1016/j.bbi.2019.08.195.

44. McCoy M.K., Tansey M.G. TNF signaling inhibition in the CNS: implications for normal brain function and neurodegenerative disease. Journal of neuroinflammation. 2008. vol. 5. no. 1. P. 45. DOI: 10.1186/1742-2094-5-45.

45. Gao H., Danzi M.C., Choi C.S., Taherian M., Dalby-Hansen C., Ellman D.G., Madsen P.M., Bixby J.L., Lemmon V.P., Lambertsen K.L., Brambilla R. Opposing Functions of Microglial and Macrophagic TNFR2 in the Pathogenesis of Ex-

perimental Autoimmune Encephalomyelitis. Cell reports. 2017. vol. 18. no. 1. P. 198–212. DOI: 10.1016/j.celrep.2016.11.083.

46. Harms A.S., Lee J.K., Nguyen T.A., Chang J., Ruhn K.M., Treviño I., Tansey M.G. Regulation of microglia effector functions by tumor necrosis factor signaling. Glia. 2012. vol. 60. no. 2. P. 189–202. DOI: 10.1002/glia.21254.

47. Schönbeck U., Mach F., Libby P. Generation of biologically active IL-1 beta by matrix metalloproteinases: a novel caspase-1-independent pathway of IL-1 beta processing. The Journal of Immunology. 1998. vol. 161. no. 7. P. 3340–3346.

48. Nagy V., Bozdagi O., Matynia A., Balcerzyk M., Okulski P., Dzwonek J., Costa R.M., Silva A.J., Kaczmarek L., Huntley G.W. Matrix metalloproteinase-9 is required for hippocampal late-phase long-term potentiation and memory. Journal of Neuroscience. 2006. vol. 26. no. 7. P. 1923–1934. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4359-05.2006.

49. Cunningham E.T., Wada E., Carter D.B., Tracey D.E., Battey J.F., De Souza E.B. In situ histochemical localization of type I interleukin-1 receptor messenger RNA in the central nervous system, pituitary, and adrenal gland of the mouse. Journal of Neuroscience. 1992. vol. 12. no. 3. P. 1101–1114. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.12-03-01101.1992.

50. McPherson C.A., Aoyama M., Harry G.J. Interleukin (IL)-1 and IL-6 regulation of neural progenitor cell proliferation with hippocampal injury: differential regulatory pathways in the subgranular zone (SGZ) of the adolescent and mature mouse brain. Brain, Behavior, and Immunity. 2011. vol. 25. no. 5. P. 850–862. DOI: 10.1016/j.bbi.2010.09.003.

51. Wu M.D., Hein A.M., Moravan M.J., Shaftel S.S., Olschowka J.A., Kerry O'Banion M. Adult murine hippocampal neurogenesis is inhibited by sustained IL-1β and not rescued by voluntary running. Brain, Behavior, and Immunity. 2012. vol. 26. no. 2. P. 292–300. DOI: 10.1016/j.bbi.2011.09.012.

52. Wu M.D., Montgomery S.L., Rivera-Escalera F., Olschowka J.A., O'Banion M.K. Sustained IL-1β expression impairs adult hippocampal neurogenesis independent of IL-1 signaling in nestin+ neural precursor cells. Brain, behavior, and immunity. 2013. vol. 32. P. 9–18. DOI: 10.1016/j.bbi.2013.03.003.

53. Allan S.M., Tyrrell P.J., Rothwell N.J. Interleukin-1 and neuronal injury. Nature Reviews Immunology. 2005. vol. 5. no. 8. P. 629–640. DOI: 10.1038/nri1664.

54. Crampton S.J., Collins L.M., Toulouse A., Nolan Y.M., O'Keeffe G.W. Exposure of foetal neural progenitor cells to IL-1β impairs their proliferation and alters their differentiation – a role for maternal inflammation? Journal of neurochemistry. 2012. vol. 120. no. 6. P. 964–973. DOI: 10.1111/j.1471-4159.2011.07634.x.

55. Park S.Y., Kang M.J., Han J.S. Interleukin-1 beta promotes neuronal differentiation through the Wnt5a/RhoA/JNK pathway in cortical neural precursor cells. Molecular brain. 2018. vol. 11. no. 1. P. 39. DOI: 10.1186/s13041-018-0383-6.

56. Islam O., Gong X., Rose-John S., Heese K. Interleukin-6 and neural stem cells: more than gliogenesis. Molecular biology of the cell. 2009. vol. 20. no. 1. P. 188–199. DOI: 10.1091/mbc.E08-05-0463.

57. Storer M.A., Gallagher D., Fatt M.P., Simonetta J.V., Kaplan D.R., Miller F.D. Interleukin-6 Regulates Adult Neural Stem Cell Numbers during Normal and Abnormal Post-natal Development. Stem Cell Reports. 2018. vol. 10. no. 5. P. 1464–1480. DOI: 10.1016/j.stemcr.2018.03.008.

58. Kong X., Gong Z., Zhang L., Sun X., Ou Z., Xu B., Huang J., Long D., He X., Lin X., Li Q., Xu L., Xuan A. JAK2/STAT3 signaling mediates IL-6-inhibited neurogenesis of neural stem cells through DNA demethylation/methylation. Brain, behavior, and immunity. 2019. vol. 79. P. 159–173. DOI: 10.1016/j.bbi.2019.01.027.

59. Lobo-Silva D., Carriche G.M., Castro A.G., Roque S., Saraiva M. Balancing the immune response in the brain: IL-10 and its regulation. Journal of neuroinflammation. 2016. vol. 13. no. 1. P. 297. DOI: 10.1186/s12974-016-0763-8.

60. Perez-Asensio F.J., Perpiñá U., Planas A.M., Pozas E. Interleukin-10 regulates progenitor differentiation and modulates neurogenesis in adult brain. Journal of Cell Science. 2013. vol. 126. no. 18. P. 4208–4219. DOI: 10.1242/jcs.127803.

61. Pereira L., Font-Nieves M., Van den Haute C., Baekelandt V., Planas A.M., Pozas E. IL-10 regulates adult neurogenesis by modulating ERK and STAT3 activity. Frontiers in cellular neuroscience. 2015. vol. 9. P. 57. DOI: 10.3389/fncel.2015.00057.

62. Colton C.A., Mott R.T., Sharpe H., Xu Q., Van Nostrand W.E., Vitek M.P. Expression profiles for macrophage alternative activation genes in AD and in mouse models of AD. Journal of neuroinflammation. 2006. vol. 3. no. 1. P. 27. DOI: 10.1186/1742-2094-3-27.

63. Orihuela R., McPherson C.A., Harry G.J. Microglial M1/M2 polarization and metabolic states. British Journal of Pharmacology. 2016. vol. 173. no. 4. P. 649–665. DOI: 10.1111/bph.13139.

64. Butovsky O., Ziv Y., Schwartz A., Landa G., Talpalar A.E., Pluchino S., Martino G., Schwartz M. Microglia activated by IL-4 or IFN-γ differentially induce neurogenesis and oligodendrogenesis from adult stem/progenitor cells. Molecular and Cellular Neuroscience. 2006. vol. 31. no. 1. P. 149–160. DOI: 10.1016/j.mcn.2005.10.006.

СТАТЬИ

УДК 911.52:550.837.76

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ БЕРЕГОВ ЗАЛИВА КАСАТКА, ОСТРОВ ИТУРУП

Едемский Д.Е., Прокопович И.В.

ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова» РАН, Москва, Троицк, e-mail: deedemsky@gmail.com

Остров Итуруп, как все острова Большой Курильской гряды, характеризуется активными геологическими процессами. Это выражается в повышенной сейсмичности, высокоамплитудных перемещениях земной поверхности по разломам, проявлениях интенсивных береговых процессов. В ходе исследования залива Касатка были выявлены основные морфогенетические типы берегов и определены ведущие рельефообразующие процессы на берегах и примыкающих к ним низких морских террасах. В работе приводятся результаты георадиолокационного обследования абразионно-аккумулятивных террас залива Касатка. Полученные георадарные разрезы фиксируют динамику изменений параметров георадарных комплексов вдоль профилей и в целом морских террас 45–60, 25–40, 5–15 м. Измерения показали, что пирокластический чехол с погребенными почвами на террасовых уровнях 25–40 и 45–60 м имеет субгоризонтальную плоскослоистую структуру мощностью от 2,5 до 5–6 м. Для интерпретации полученных радиолокационных профилей и восстановления по ним геологических структур, на характерных участках профилей было проведено зондирование по методу общей глубинной точки (ОГТ). Полученные результаты георадарного зондирования сопоставляются с данными маршрутных исследований, в которых зафиксированы морфологические параметры форм рельефа, литологические особенности и интенсивность антропогенной нагрузки в пределах береговой зоны.

Ключевые слова: Итуруп, морские террасы, морские берега, почвенно-пирокластический чехол, георадиолокация, георадар

GPR SURVEY OF THE GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF SEA COAST OF KASATKA BAY, ITURUP

Edemskiy D.E., Prokopovich I.V.

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS, Moscow, Troitsk, e-mail: deedemsky@gmail.com

Iturup, like all the islands of The Kuril Islands, is characterized by active geological processes. This is expressed in increased seismicity, high-amplitude movements of the earth's surface along faults, and manifestations of intensive coastal processes. During the study of Kasatka Bay, the main morphogenetic types of coasts were identified and the leading relief-forming processes on the coasts and low sea adjacent terraces were determined. The paper presents the results of a GPR survey of the abrasion-accumulative terraces of Kasatka Bay. The obtained GPR scans record the dynamics of changes in the parameters of GPR complexes along the profiles and generally of sea terraces with height 45–60 m, 25–40 m, 5–15 m. Measurements showed that the pyroclastic cover with buried soils at terrace levels 25–40 m and 45– 60 m has a subhorizontal layered structure with a thickness of 2.5 to 5–6 m. To interpret the obtained GPR profiles and reconstruct geological structures from them, sounding was performed on the typical sections of the profiles by using the common midpoint (CMP) method. The obtained results of GPR survey are compared with recorded data of route studies, in which the morphological parameters of the relief forms, lithological features and the intensity of the anthropogenic load within the coastal zone.

Keywords: Iturup, sea terraces, sea coast, soil-pyroclastic cover, GPR survey, georadar

Как и большая часть островов северо-западной периферии Тихого океана, Курилы имеют преимущественно вулканическое происхождение и располагаются в переходной зоне между Тихоокеанской океанической литосферной плитой и ее континентальным обрамлением [1]. Берега Курил развиваются на фоне продолжающейся вулканической активности и направленного тектонического воздымания, скорости которого составляют в голоцене по существующим оценкам около 1 мм/год [2]. Общие очертания береговой линии в значительной степени отражают расположение и контуры современных и древних вулканических построек. Так, в обобщающей работе по берегам Тихого океана [2–4] авторы прямо указывают, что доминирующим типом берегов на Курилах являются вулканические на разных стадиях развития, с крайне слабой степенью волновой обработки берегов в пределах контуров активных вулканических построек.

Однако многие аспекты функционирования ландшафтов островов остаются невыясненными, это относится, в частности, к прибрежным морфосистемам. Морской рельеф о. Итуруп разделяется на надводный и подводный, которые в свою очередь делятся на современный и древний. Надводный

морской рельеф наиболее полно представлен в центральной и юго-западной частях острова. На побережье о. Итуруп разными авторами выделяется разное количество надводных морских террас от 200–300 м до 2–3 м. Ю.Ф. Чемеков [5] выделяет 9 террас, по данным В.К. Грабкова [6] – 7 террас, по данным А.П. Кулакова [7] – 6 террас. Н.Г. Разжигаева [8] для центральной части острова выделила террасы: 80–100, 25–30, 12–15 и 6–8 м.

Целью работы является изучение геолого-геоморфологического строения морских террас в центральной части о. Итуруп (залив Касатка) с применением геофизического метода георадиолокации – эффективного метода инженерно-геотехнического обследования грунтов.

В основе данной работы лежит детальное полевое обследование (включая георадиолокацию) центральной части береговой зоны острова Итуруп, в частности залива Касатка, выполненного в ходе совместной экспедиции Министерства обороны РФ и Русского географического общества в 2019 г.

Материалы и методы исследования

Планирование маршрутных исследований осуществлялось на основе предварительного анализа топографических, геологических и геоморфологических карт и космических снимков открытого доступа. В ходе маршрутных исследований залива Касатка были выявлены основные морфогенетические типы берегов и определены ведущие рельефообразующие процессы на берегах и примыкающих к ним низких морских террасах. Выполнено геоморфологическое описание морских террас.

При исследовании геолого-геоморфологического строения берегов применялись геофизические методы, в частности георадиолокация – эффективный метод инженерно-геотехнического обследования грунтов на глубинах от нескольких сантиметров до десятков метров. Работы на участке исследований выполнялись георадаром Лоза-В, антенными системами с центральными частотами 300 МГц и 50 МГц, передатчиком импульсной мощностью 1 МВт (5 кВ). При благоприятных геологических условиях георадарный комплекс способны достигать глубины исследования 15–20 м.

Для интерпретации полученных радиолокационных профилей и восстановления по ним геологических структур, на характерных участках было проведено зондирование по методу общей глубинной точки (ОГТ), позволяющее определить скорость электромагнитных волн во всех слоях георадарного разреза и пересчитать георадарный разрез из масштаба времен в масштаб глубин без привлечения априорной информации [9, 10].

Результаты исследования и их обсуждение

В пределах залива Касатка нами выделено 4 морфогенетических типов берегов (рис. 1): абразионные берега с активными уступами, выработанными в эффузивах (*а*), абразионно-денудационные берега с валунно-глыбовой отмосткой в эффузивах и литифицированной пирокластике (*б*), денудационные (обвальные) берега с отмершими клифами, бронированные крупными сейсмообвальными телами (*в*), аккумулятивные берега (*г*) [11].

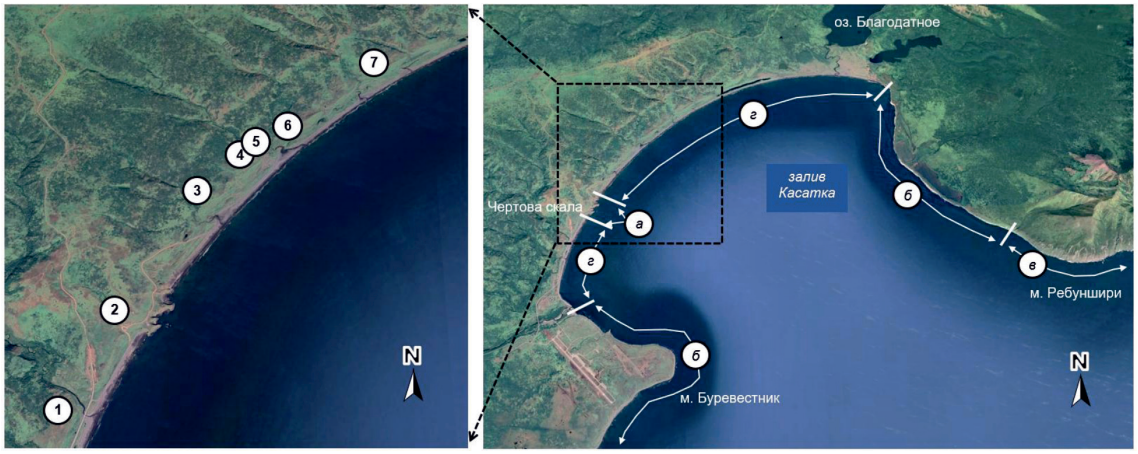


Рис. 1. Остров Итуруп: карта морфогенетических типов берегов (а–г) залива Касатка. Георадарные профили (1–7) на участке исследования

Аккумулятивные берега (*г*) наиболее выразительно развиты в центре кутовой части залива Касатка, где нами было заложено несколько геолого-геоморфологических и георадарных профилей. В результате георадарного обследования берегов центральной части залива Касатка было пройдено семь георадиолокационных профилей (*1–7*) (рис. 1), на прибрежном участке длиной более 5 км. Протяженность профилей составляла от 156 м до 362 м.

На основании полевых наблюдений авторы выделяют следующие террасовые уровни: 100–120, 45–60, 25–40, 5–15, 2–3 м. Характерный геоморфологический профиль берега (*4*) (рис. 1), на который нанесены результаты георадарной съёмки, представлен на рис. 2. Данный профиль на участке 240–680 м сформирован абразионно-аккумулятивной террасой высотой 25–40 м, частично покрытой бамбучником, кустарником и кедровым стлаником. На отметках 35–240 м можно выделить характерный георадарный разрез низкой морской аккумулятивной террасы 5–15 м с береговыми валами *в1–в10* и на отметках 0–35 м песчано-галечный пляж, образованный вследствие размыва береговых уступов и переноса отложений вдольбереговыми течениями.

Терраса 100–120 м представлена в районе Буревестника, а также в районе скалы Чертовка – озера Благодатного. Поверхность ее ровная, слабонаклоненная, расчлененная долинами рек и ручьев от U-образного до каньонообразного сечений. Тыловой шов неотчетлив. Бровка террасы сглажена и наиболее четко выражена в местах, где она окаймляется крутым (30–40 °) уступом высотой до 50 м. Терраса цокольная, мощность аккумулятивного чехла составляет 10–35 м [12], который сложен слоистыми суглинками, тефрами, песками и галечниками. Возраст террасы ранне-среднечетвертичный, по данным спорово-пыльцевого анализа возраст террасы поздненеоплейстоценовый [5, 6].

Терраса 45–60 м также является цокольной. Поверхность террасы ровная, слегка наклонена в сторону берега моря (2–4 °), ширина до 200 м. Тыловой шов довольно чёткий, бровка сглажена. Долины рек и ручьев, пересекающих данную террасу, имеют U-образный профиль. По данным [12] мощность аккумулятивного чехла террасы 5–30 м. Возраст террасы среднечетвертичный [6], а по данным спорово-пыльцевого анализа возраст террасы оценён как поздненеоплейстоценовый.

Анализ волновой картины террасы (рис. 3, *а*, *б*), профиль (*2*) (рис. 1), позволил выделить георадарные комплексы, границы между которыми проведены по линии изменения морфологии осей синфазности, границе несогласий [10, 13], интерпретация георадарных данных приведена на рис. 3, *в*. Георадарный комплекс (*1*), мощностью 2,5–4 м, сформированный из протяженных субгоризонтальных осей синфазности, интенсивность которых вдоль профиля стабильна, представляет собой ППЧ. Начиная с подошвы данного комплекса, георадарный разрез приобретает характерный нерегулярный волновой рисунок (*2*), мощностью 0–6 м, что свидетельствует о локальных несортированных щебнисто-глыбовых отложениях, и подошва которого, ось синфазности высокой интенсивности (*3*), является кровлей коренных пород (*4*) цоколя террасы, перекрытого суглинками мощностью около 1 м. Георадарный комплекс (*2*), сформированный щебнисто-глыбовыми вулканическим материалом, предположительно результат лахаровых процессов. На других профилях, проложенных на террасах 45–60 м, георадарного комплекса (*2*) не наблюдается, что подтверждает локальный характер этого процесса.

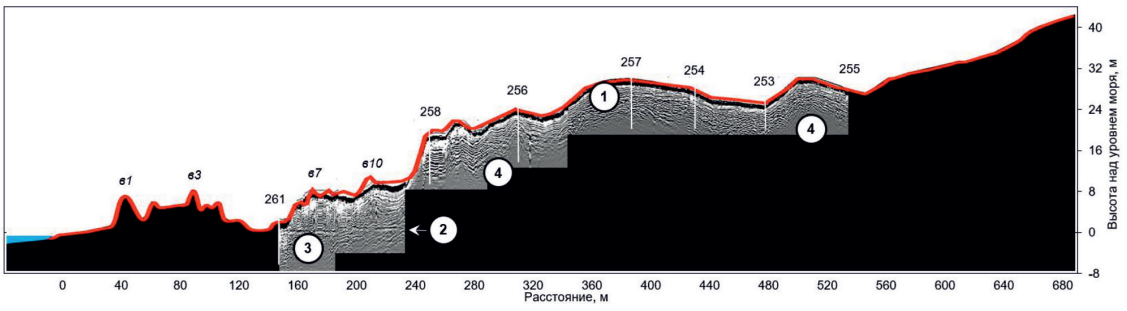


Рис. 2. Комбинация геоморфологического и георадарного профиля (4) (рис. 1):
1 – пирокластический чехол с погребёнными почвами (ППЧ);
2 – уровень грунтовых вод; 3 – галька, валуны; 4 – коренные породы, цоколь террасы

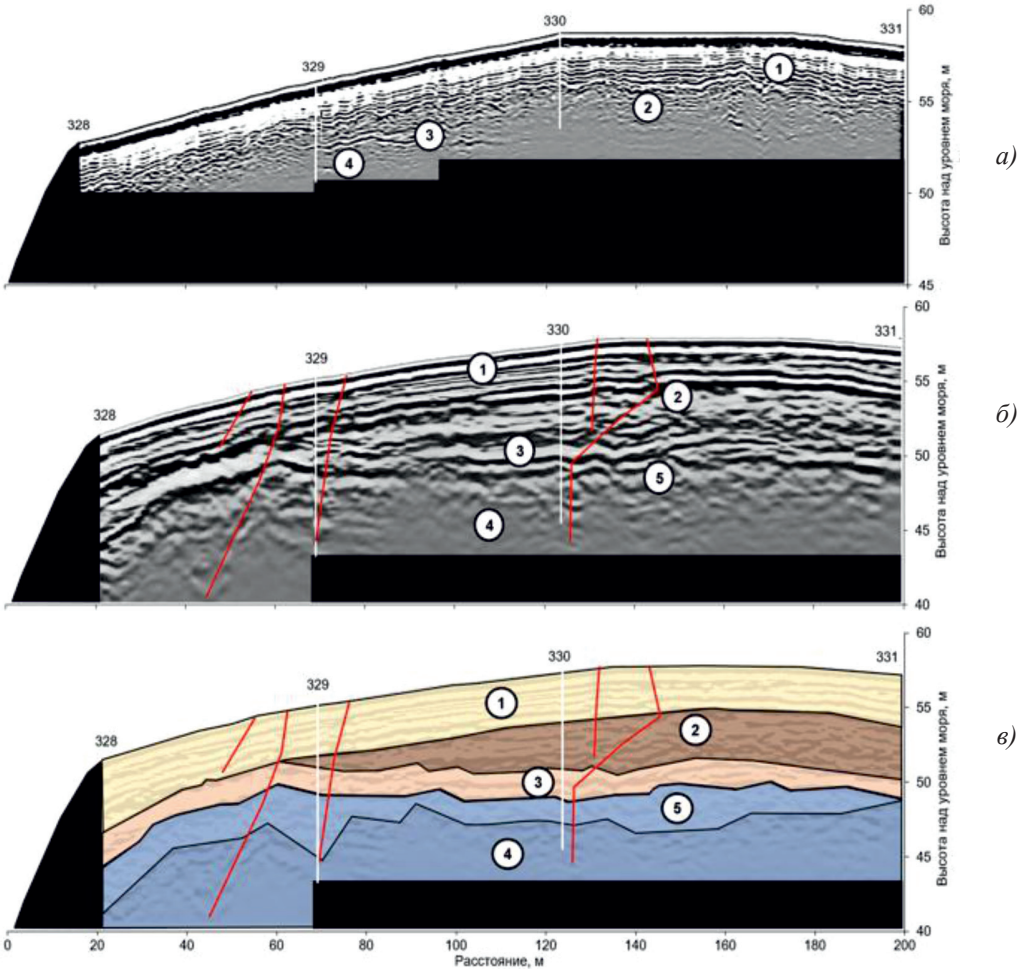


Рис. 3. Терраса 45–60 м, профиль (2) (рис. 1): а) георадарный профиль, центральная частота 300 МГц; б) георадарный профиль, центральная частота 50 МГц; в) профиль с выделением георадарных комплексов; 1 – ППЧ; 2 – несортированные щебнисто-глыбовые отложения; 3 – суглинки; 4 – коренные породы, цоколь террасы; 5 – сильно разрушенный, трещиноватый цоколь террасы; красные линии – линии разрыва осей синфазности

Результаты георадарного обследования с применением 50 МГц антенны (рис. 3, *б*) зафиксировали локальные морфолитодинамические изменения на береговых уступах, перекрытых осадочными породами мощностью 0–4 м. Регулярная структура георадарных комплексов (*1*) и (*4*) имеет нарушения в виде разрывов в осях синфазности, которые выделены красным линиями на рис. 3. Кровля цоколя террасы сформирована разрушенными, сильно трещиноватыми андезито-базальтовыми лавовыми породами (*5*) мощностью до 5–6 м.

Поверхность *террасы 25–40 м* полого наклонена (3–5 °) в сторону берега моря. Тыловой шов и бровка выражены чётко и ясно. Терраса является цикловой, мощность аккумулятивного чехла составляет 5–13 м [7]. В работе Н.Г. Разжигаевой [6] определён возраст террасы как среднеплейстоценовый, и сформировалась она в условиях, сопоставляемых с миндель-рисским межледниковьем.

Анализ волновой картины абразионно-аккумулятивной террасы (рис. 4, *а*, *б*), профиль (*5*) (рис. 1), позволил выделить два георадарных комплекса, интерпретация георадарных данных приведена на рис. 4, *в*. Георадарный комплекс (*1*) сформирован из протяженных субгоризонтальных осей синфазности – ППЧ, с чередованием пеплов, песков. Нижний ярус (*2*) представленный сильно разрушенными коренными породами.

На рис. 4, а и *б*, весь георадарный профиль можно разделить условно на три участка. Участок, пикеты (*242*)–(*244*), на котором мощность отдельных прослоев, вхо-

дящих в комплекс, относительно стабильна. На участке, пикеты (*370*)–(*242*), мощность отдельных прослоев, входящих в комплекс, возрастает, и количество прослоев увеличивается с приближением к бровке террасы (*370*), при этом мощность осадочных пород увеличивается с 3 м, пикет (*242*), до 10–12 м, пикет (*370*). От пикета (*370*) и до конца профиля (*000*) (терраса 5–15 м) волновой рисунок георадарного комплекса (*1*) меняется, он носит нерегулярный характер, субгоризонтальность осей синфазности нарушается как следствие размыва береговых уступов и воздействия эоловых процессов.

Результаты георадарного обследования с применением антенны 50 МГц (рис. 4, *а*) зафиксировали локальные морфолитодинамические изменения на береговой террасе. Подошва комплекса (*1*) является кровлей коренных пород (цоколя террасы) (*2*), верхняя часть которых неоднородна (*3*), частично разрушена, имеются характерные радиообразы повышенной трещиноватости, которые отмечены на профиле вертикальными красными линиями.

Террасовый уровень 5–15 м наблюдается практически повсеместно в заливе Касатка, максимальная ширина до 500 м. На аккумулятивной террасе сформирована серия береговых валов (до 13 шт.) шириной до 30 м, относительной высотой до 3–4 м, местами выше, за счет эоловой аккумуляции. Максимальные высоты песчаных дюн 10 м. Сложена терраса преимущественно песчаным материалом, возраст террасы голоценовый [14]. Небольшие участки плоских заболоченных аллювиально-озёрных и лагунно-морских равнин наблюдаются на низменных участках террасы, отдаленных от моря береговыми валами на высотах 5–7 м. Фрагменты георадарных профилей отдельных аккумулятивных террас приведены на рис. 5.

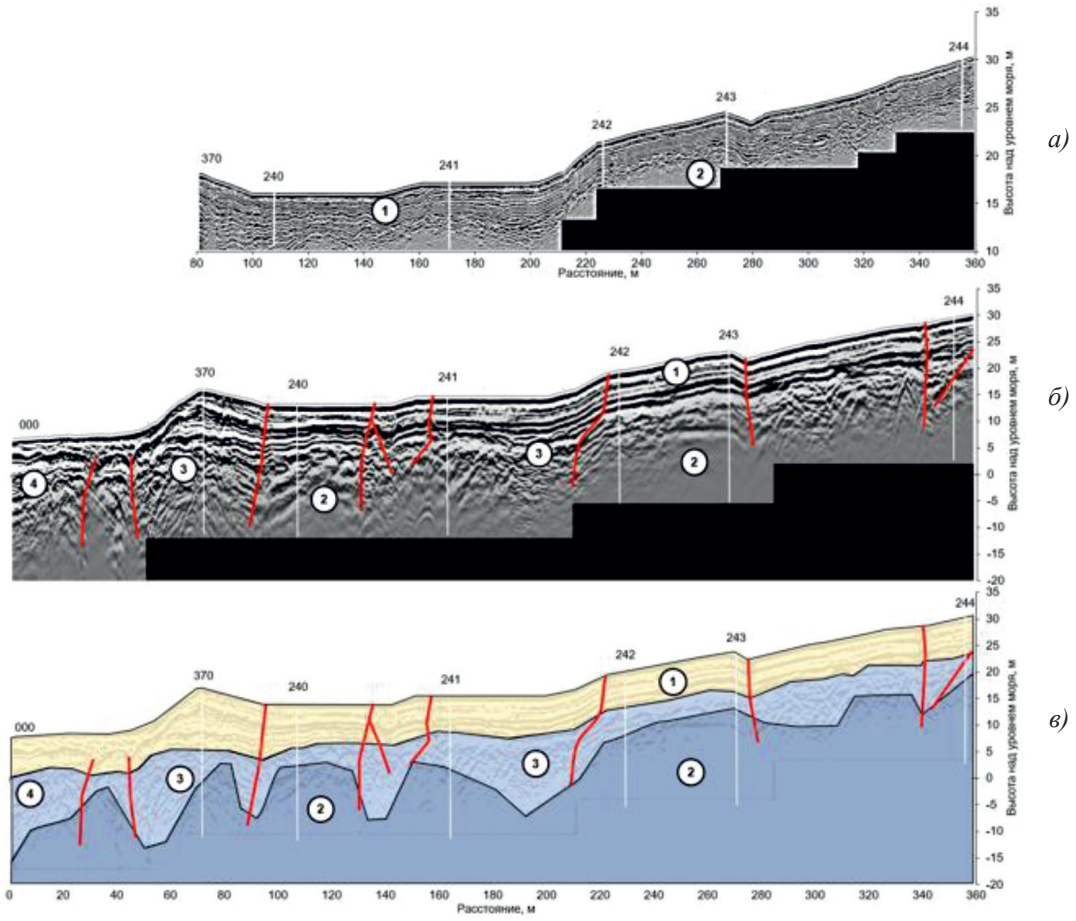
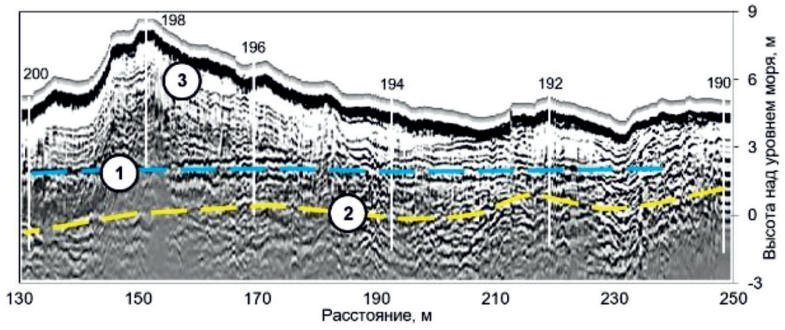
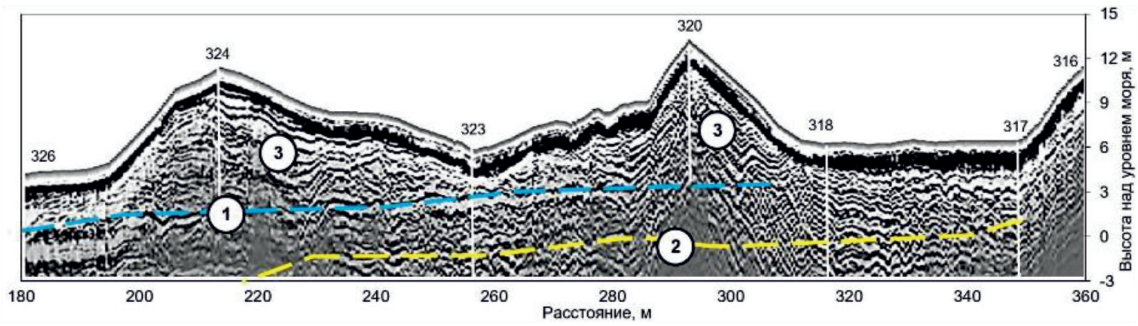


Рис. 4. Терраса 25–40 м, профиль (5) (рис. 1): а) георадарный профиль, фрагмент, центральная частота 300 МГц; б) георадарный профиль, центральная частота 50 МГц; в) профиль с выделением георадарных комплексов; 1 – ППЧ; 2 – коренные породы, цоколь террасы; 3 – сильно разрушенный, трещиноватый цоколь террасы; красные линии – линии разрыва осей синфазности



а)



б)

Рис. 5. Террасы 5–15 м: а) георадарный профиль, центральная частота 300 МГц, профиль (7) (рис. 1); б) георадарный профиль, центральная частота 300 МГц, профиль (6) (рис. 1); 1 – уровень грунтовых вод; 2 – галька, валуны; 3 – морские пески однородные, слоистые

Главным элементом террасы являются полнопрофильные береговые валы, сложенные пляжевыми наносами. Динамика рельефа террасы весьма высока, зависит от гидрометеорологической обстановки и проявляется в короткопериодичных трансформациях микрорельефа береговой зоны. Наличие регулярных структур на тыльной стороне валов (*3*) (рис. 5, *а*, *б*) подтверждает, что основная тенденция развития таких берегов – редкие эпизоды активного, иногда катастрофического цунамигенного размыва на фоне длительной постепенной аккумуляции пляжевых наносов, сопровождающейся эоловой переработкой песчаных валов. По характеру волновой картины можно выделить границу кровли отмостки (*2*) и по интенсивной линии синфазности (*1*) проследить уровень грунтовых вод.

Анализ верхней части георадарных разрезов на *террасах 45–60* и *25–40* по результатам измерений антеннами 300 МГц показал, что для пирокластического чехла с погребёнными почвами характерна довольно четкая субгоризонтальная стратификация в виде горизонтальных осей синфазности отраженных волн (*1*) (рис. 3, *а*, 4, *а*). Фрагмент пирокластического чехла с погребёнными почвами, пикет (*329*) (рис. 3) с литологической колонкой приведен на рис. 6. В табл. 1 дано описание структуры разреза данного фрагмента. Как видно из рис. 2, 3, *а*, 4, *а*, данный георадарный разрез, за исключением георадарного комплекса (*2*) (рис. 3), характерен для террасы 45–60 м (профили (*2*), (*6*), рис. 1) и для большей части террасы 25–40 м (профили (*1*), (*3*), (*4*), (*5*), рис. 1). Следует отметить, что георадарный комплекс (*3*) представлен только в одном месте, в районе скалы Чертовка, и может быть интерпретирован как перекрытие пролювиально-селевыми выносами части ППЧ на данном участке берега. Мощность ППЧ на террасах 45–60 м, как и на большей части террасы 25–40 м, составляет 2,5–4 м.

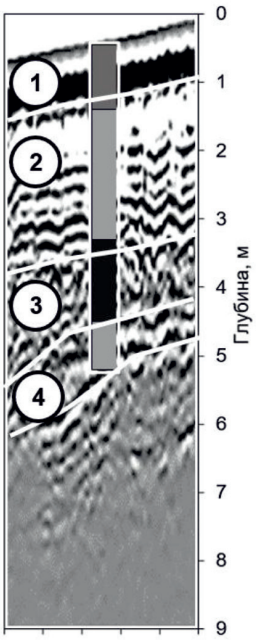


Рис. 6. Фрагмент георадарного профиля (2) (рис. 1), с литологической колонкой у пикета (329) (рис. 3, а), табл. 1

По результатам зондирования методом ОГТ террасы 45–60 м (рис. 7, *г*) относительная диэлектрическая проницаемость (ε) отдельных прослоев ППЧ изменяется в диапазоне 9,4–51,2, а радиолокационная скорость электромагнитной волны (в два раза выше скорости радиоволны в среде) $V_р$ изменяется в диапазоне 2,1–4,9 см/нс, при этом средняя скорость по разрезу на глубине 3 м составит $V_{рср}$ = 3,1 см/нс. Наблюдаются влагонасыщенные горизонты на отметках с 1,9 и 3,9 м (рис. 7, *г*). Данные параметры относительно стабильны вдоль всей трассы георадарного профиля (рис. 3) и в целом для террасы 45–60 м.

Для террас 25–40 м не наблюдается постоянства, как в структуре, так и в мощности осадочных пород. В результате воздействия катастрофических цунамигенных размывов и выноса песчаных фракций, а также эоловых процессов мощность ППЧ увеличивается с приближением к бровке террасы. Расчеты показали, что мощность комплекса с субгоризонтальной структурой ППЧ (рис. 4, *а*) возрастает от пикета (*244*) к пикету (*370*) примерно в три раза, ε верхней части ППЧ вдоль профиля изменяется в диапазоне 33,2–41,7, а $ε_{ср}$ для ППЧ вдоль профиля изменяется в более широком диапазоне 22–45,1 (табл. 2). Изменение $V_р$ от кровли комплекса к подошве зависит от размещения пикета относительно берега. Ближе к бровке террасы $V_р$ в отдельных прослоях может меняться в два раза относительно средней по разрезу (рис. 7, *а*), что в первую очередь говорит о влажности данного слоя. Чем ближе к тыловому шву террасы, тем $V_р$, становится более равномерной и имеет тенденцию к повышению с глубиной (рис. 7, *б*). Это может быть результатом цунамигенных размывов и выноса песчаных фракций на часть террасы, примыкающей к ее бровке.

Таблица 1

Геологический разрез, пикет (*329*)

№	Интервал, м	Мощность, м	Литологическая колонка	Описание пород
1	0–0,92	0,92		Почвы, торфяники с включениями песка и суглинка
2	0,92–2,92	2		Суглинки, буровато-желтые, буровато-серые с прослоями пепла и пемзы
3	2,92–4,19	1,27		Обломочная порода и суглинками
4	4,19–4,68	>0,5		Суглинки буровато-желтые

Таблица 2

Результаты зондирования, пикеты (*240*)–(*244*)

Пикет	кровля ППЧ			ППЧ		
	$V_р$	*D*	ε	$V_{рср}$	*D*	$ε_{ср}$
	см/нс	см		см/нс	см	
240	2,6	59	33,2	2,7	501	30,9
241	2,4	58	40,0	3,0	371	25,0
242	2,4	74	38,5	3,2	288	22,0
243	2,3	64	41,7	2,4	190	40,9
244	2,5	66	35,6	2,2	172	45,1

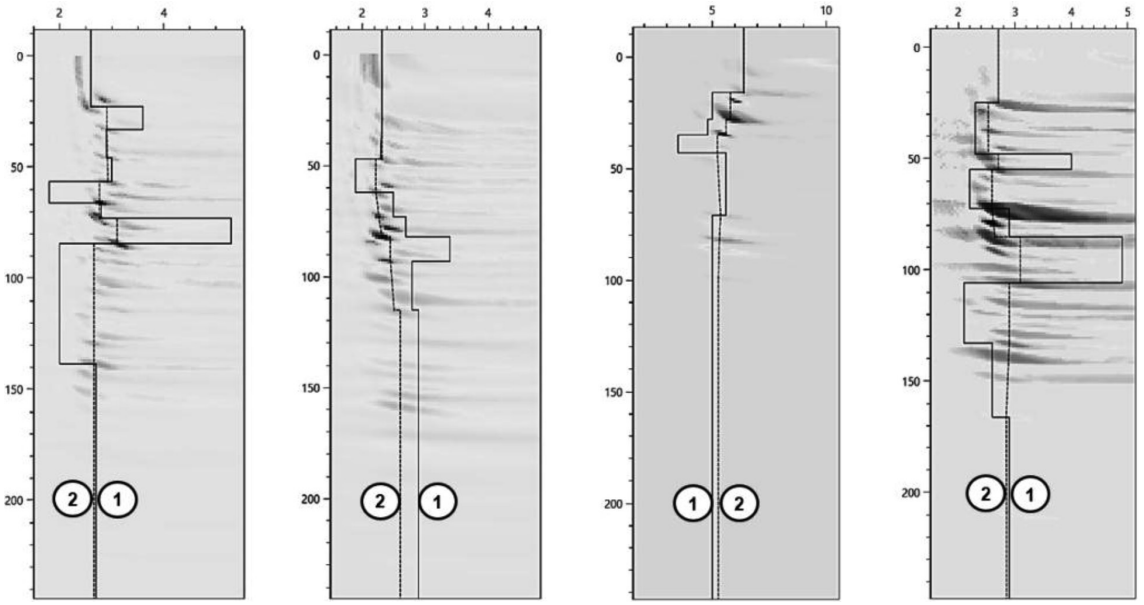


Рис. 7. График радиолокационной скорости распространения $V_р$ в георадарном разрезе: а) пикет (240); б) пикет (243); в) пикет (235); г) пикет (327); 1 – $V_р$ в слое, см/нс; 2 – средняя $V_{рср}$ по разрезу, см/нс. Вертикальная ось – время задержки сигнала, нс. Горизонтальная ось – $V_р$, см/нс

Для террасы 5–15 м скорость $V_р$ (рис. 7, *в*) в верхних слоях разреза примерно в два раза превышает среднюю скорость для террасы 45–60 м, и если учитывать сопоставимую влажность грунтов верхних слоев разреза террас, то можно утверждать, что увеличение скорости обусловлено увеличением процентного содержания песчаных фракций в грунте. А с увеличением глубины $V_р$ уменьшается в связи с увеличением влажности, как результат близости террасы 5–15 к морю, а поверхности террасы к уровню грунтовых вод.

Заключение

По результатам исследований в заливе Касатка выделено четыре морфогенетических типа берегов: абразионные берега с активными уступами; абразионно-денудационные берега с валунно-глыбовой; денудационные (обвальные) берега с отмершими клифами; аккумулятивные берега. На аккумулятивные берега с галечно–песчаным пляжем полного профиля приходится 49 % (кутовые части залива), а на берега абразионного облика – 51 % (фланги залива и скала Чертовка).

В заливе Касатка выделены и обследованы террасовые уровни: 100–120, 45–60, 25–40, 5–15, 2–3 м. Совместное использование традиционных геоморфологических и геофизических методов (георадиолокация) позволило проанализировать геолого-геоморфологическое строение берегов провести оценку мощности осадочного чехла и характер его изменения для террас 45–60, 25–40, 5–15 м.

Результаты георадиолокации показали, что пирокластический чехол с погребенными почвами на террасах 45–60 м имеет субгоризонтальную структуру мощностью от 2,4 м до 5–6 м. Подошва данного комплекса является кровлей коренных пород (цоколя террасы), верхняя часть которых неоднородна, частично разрушена, имеются характерные радиообразы повышенной трещиноватости, которые отмечены на профилях вертикальными красными линиями. Террасы 25–30 и 30–40 м по своему морфологическому облику практически идентичны.

Применение георадиолокации обеспечило: возможность изучения геоморфологического строения берегов на глубинах от десятков сантиметров до десятков метров, определение количественных оценок (ε, $V_р$) и качественных оценок (влажность, трещиноватость, разуплотнение) подповерхностного слоя морских террас.

Комплексирование метода наземной геоморфологической съемки и метода георадиолокации, а также последующее обоб-

щение результатов с применением космических снимков по результатам работ представляются весьма эффективными.

Работы выполнены при поддержке РФФИ, грант № 18-02-00185 и содействии Экспедиционного центра МО РФ и Российского географического общества.

Список литературы

1. Атлас Курильских островов. М.: Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009. 516 с.

2. Afanasiev V.V., Dunaev N.N., Gorbunov A.O., Uba A.V. The manifestation of caldera-forming volcanism in the formation of the sea coast (on the example of Iturup island of the Large Kuril Arc). In: Olegovna C. (eds) Processes in GeoMedia – Volume I. Springer Geology. Springer, Cham. 2020. P. 51–61. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6_7.

3. Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Эксплозивное извержение вулкана Иван Грозный в 2012–2013 гг. (остров Итуруп, Курильские острова) // Вестник ДВО РАН, 2013. № 3. С. 39–44.

4. Зенкович В.П., Каплин П.А., Ионин А.С., Медведев В.С. Берега Тихого океана. М.: Наука, 1967. 373 с.

5. Чемеков Ю.Ф. Проблемы четвертичного оледенения Северо-Востока и Дальнего Востока. Л.: ОНТИ ВСЕГЕИ, 1961. С. 120–135.

6. Грабков В.К. Спектры морских террас как отражение плейстоценовых вертикальных движений земной коры северозападного сектора Тихоокеанского подвижного пояса // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. 1975. Вып. 3. С. 151–163.

7. Кулаков А.П. Четвертичные береговые линии Охотского и Японского морей. Новосибирск: Наука, 1973. 187 с.

8. Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М. Среднеплейстоценовые прибрежные отложения, о. Итуруп, Курильские острова // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 4. С. 48–58.

9. Едемский Д.Е., Едемский Ф.Д., Морозов П.А. Профилирование и определение параметров среды при проведении георадарных обследований // Электромагнитные волны и электронные системы. 2010. Т. 15. № 9. С. 57–63.

10. Дунаев Н.Н., Репкина Т.Ю., Баранская А.В., Афанасьев В.В. Современная динамика аккумулятивного берега, сложенного пирокластикой подводного вулканического извержения // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3. № 2. С. 237–244. DOI: 10.30730/2541-8912.2019.3.2.237-244.

11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Курильская. Лист L-55-XXIII, XXIX: Объяснит. записка. 2-е изд. СПб.: ФГУГП СахГРЭ, 2002. 117 с.

12. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.

13. Едемский Д.Е., Попов А.В., Прокопович И.В., Дегтерев А.В., Рыбин А.В. Опыт георадиолокационного зондирования почвенно-пирокластического чехла юго-восточной части о. Матуа (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. Вып. 40. № 4. С. 69–81. DOI: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-69-81.

14. Razjigaeva N.G., Korotky A.M., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Bazarova V.B., Sulerzhitsky L.D., Lutaenko K.A. Holocene climatic changes and environmental history of Iturup Island, Kurile Islands, northwestern Pacific. Holocene. 2002. Vol. 12 (4). P. 469–480. DOI: 10.1191/0959683602hl549 rp.

СТАТЬИ

УДК 612.13:616.718.42:616-053.2

ПУЛЬСОВОЕ КРОВЕНАПОЛНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ ДО 6 ЛЕТ ПРИ БОЛЕЗНИ ПЕРТЕСА

Бунов В.С., Тепленький М.П., Олейников Е.В.

ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: bvsbunov@yandex.ru, teplenkiymp@mail.ru, ortho-kgn@mail.ru

Целью исследования было выявить особенности пульсового кровенаполнения в компонентах тазобедренных суставов у детей до 6 лет при болезни Пертеса. У 64 пациентов возраста от 4 до 12 лет с болезнью Пертеса в стадии фрагментации головки бедренной кости (III–IV группа по Catterall, группы B/C, C по Herring) с помощью реовазографии проведены исследования кровообращения во внутрикостных и параоссальных тканях тазобедренного сустава. Затем результаты исследований 14 пациентов возраста 4–6 лет сопоставляли с совокупностью данных всех пациентов. Исследования показали, что при болезни Пертеса после окклюзии участка сосудистого русла головки бедренных костей аномалии сосудистого русла конечности, являющиеся одной из причин развития заболевания, продолжают оказывать влияние и ограничивают кровообращение в компонентах тазобедренного сустава. У детей до 6 лет артерии круглой связки головки бедренных костей могут участвовать в компенсации недостаточности кровообращения в головке бедренных костей. В возрастной группе детей до 6 лет влияние аномалии сосудистого русла конечности ограничивается головкой бедренной кости, выражается ишемией внутрикостных тканей, вследствие которой возможны ограничения интенсивности регенерации тканей.

Ключевые слова: болезнь Пертеса, внутрикостное кровообращение, реовазография

PULSE BLOOD COMPLETION OF COMPONENTS OF HIP JOINT IN CHILDREN UNDER 6 YEARS WITH PERTHERS DISEASE

Bunov V.S., Teplenkiy M.P., Oleynikov E.V.

Federal State Budgetary Institution «National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Ortopedics» of Ministry of Healthcare, Kurgan, e-mail: bvsbunov@yandex.ru, teplenkiymp@mail.ru, ortho-kgn@mail.ru

The aim of the study was to identify the features of pulse blood supply in the components of the hip joints in children under six years of age with Perthes disease. In 64 patients aged 4 to 12 years with Perthes disease in the stage of fragmentation of the femoral head (Catterall group III-IV, Herring group B / C, C / C group), rheovasography examined blood circulation in the intraosseous and paraossal tissues of the hip joint. Then, the results of studies of 14 patients aged 4-6 years were compared with the aggregate data of all patients. Studies have shown that with Perthes disease, after occlusion of a portion of the vascular bed of the femoral head, abnormalities of the limb vascular bed, which are one of the causes of the development of the disease, continue to affect and limit blood circulation in the components of the hip joint. In children under 6 years of age, arteries of the round ligament of the femoral head can participate in compensating for circulatory failure in the femoral head. In the age group of children under 6 years of age, the influence of abnormalities in the vascular bed of the limb is limited to the femoral head, expressed by ischemia of intraosseous tissues, due to which restrictions on the intensity of tissue regeneration are possible.

Keywords: Perthes disease, intraosseous circulation, rheovasography

Согласно общепринятой точке зрения у детей до 6 лет болезнь Пертеса имеет доброкачественное течение, благоприятный прогноз и не требует активного лечения [1]. Однако при значительной степени поражения эпифиза (Catterall III, IV) удельный вес неудовлетворительных результатов возрастает до 31–43 % [2, 3]. И, поскольку взаимосвязь между характером лечения и вероятностью неблагоприятного исхода установить не удается [1, 4, 5], значимость фактора возраста как прогностического критерия снижается.

Основной причиной некроза тканей головки бедренной кости признан тромбоз микроциркуляторного русла на фоне дисплазии сосудов конечности и ангиоспазма [6]. После окклюзии участка сосудистого русла кровообращение в головке бедренной кости стабилизируется, однако аномалия сосудов конечности сохраняется и может быть причиной латентной хронической ишемии, влияющей на регенерацию тканей и развитие компонентов тазобедренного сустава.

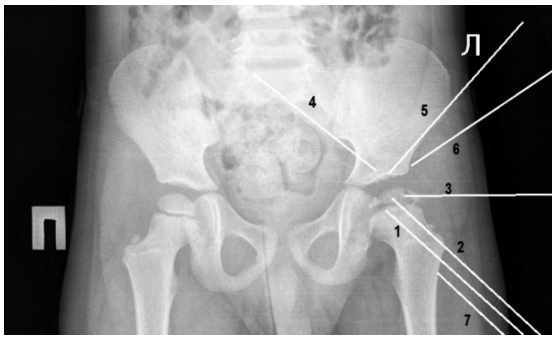
Известно, что пульсовая волна позволяет получить представление о состоянии кровообращения и тонусе стенок сосудов [7]. Был разработан способ введения спиц в костные компоненты тазобедренного сустава, обеспечивающий возможность регистрировать пульсовую волну кровенаполнения во внутрикостных тканях с помощью реовазографии [8].

Цель исследования: выявить особенности пульсового кровенаполнения в компонентах тазобедренных суставов у детей до 6 лет при болезни Пертеса.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками МЗ РФ при информированном письменном согласии родителей пациентов на проведение исследования без идентификации личности. Регистрировали пульсовые волны кровенаполнения в компонентах тазобедренного сустава 64 пациентов с болезнью Пертеса возраста 4–12 лет и определяли их количественные характеристики. Затем результаты исследований 14 пациентов возраста 4–6 лет сопоставляли с совокупностью данных всех пациентов. Критерии включения: II стадия по Waldenstrom, III–IV группы по Catterall, группы B/C, C по Herring.

Регистрацию параметров пульсовой волны проводили в условиях операционной перед фиксацией аппарата Илизарова для декомпрессии в тазобедренном суставе при сохраняющейся мобильности пациента. Электродами служили спицы диаметром 1,8 мм, которые вводили с помощью электродрели (рисунок).



Рентгенограмма пациента 7 лет с болезнью Пертеса со спицами

Регистрировали импеданс и пульсовые волны кровенаполнения с помощью спиц 1 и 3 в полостях губчатой кости снаружи от проксимальной метаэпифизарной зоны роста бедренной кости, спиц 2 и 3 – в головке бедренной кости, спиц 4 и 5 – в крыше вертлужной впадины, спиц 4 и 6 – в параоссальных тканях над крышей вертлужной впадины, спиц 3 и 7 – в параоссальных тканях над проксимальным отделом бедренной кости. К внутрикостным тканям относили содержимое полостей губчатой кости, к параоссальным тканям – мягкие ткани над костью между участками спиц.

Исследования проводили с помощью полианализатора РГПА-6/12 «РЕАН-ПОЛИ» (МЕДИКОМ-МТД, Россия, г. Таганрог). Регистрировали одновременно электрокардиограмму (ЭКГ) во II стандартном отведении, базовый импеданс, объемные реовазограммы (РВГ) внутрикостных и параоссальных тканей и их первые производные. Сила тока 1,5 мА, частота 56 Гц, калибровочный сигнал 0,1 Ом.

В цифровом выражении выводили следующие параметры пульсовой волны [8]: 1) RR – длительность сердечного цикла; 2) БИ – базовый импеданс (эквивалент кровенаполнения); 3) ВБКН – время быстрого кровенаполнения пульсовой волны (раскрытия органной артерии). Чем выше тонус стенок, тем больше времени требуется для увеличения просвета артерии под пульсовым давлением крови; 4) ВМКН – время медленного кровенаполнения пульсовой волны (раскрытия внутриорганных артерий); 5) ВМСН – время максимального систолического кровенаполнения пульсовой волны (сумма ВБКН и ВМКН); 6) АБКН – амплитуда быстрого кровенаполнения пульсовой волны (эквивалент кровенаполнения органных артерий); 7) АМКН – амплитуда медленного кровенаполнения пульсовой волны (эквивалент кровенаполнения внутриорганных артерий); 8) РИ – реографический индекс (эквивалент кровенаполнения участка сосудистого русла); 9) ООП – относительный объемный пульс (эквивалент порции крови, обеспечивающей пульсовое кровенаполнение, РИ/БИ*1000); 10) СсБКН – средняя скорость быстрого кровенаполнения органных артерий, АБКН/ВБКН; 11) СсМКН – средняя скорость медленного кровенаполнения внутриорганных артерий, АМКН/ВМКН; 12) СсКН – средняя скорость кровенаполнения всех артерий участка тканей, РИ/ВМСН; 13) ППСС – показатель периферического сосудистого сопротивления (отношение амплитуды нижней точки инцизуры к АБКН); 14) ДКИ – показатель тонуса резистивных сосудов (отношение амплитуды нижней точки инцизуры к РИ); 15) ДСИ – диастолический индекс (показатель преобладания притока над оттоком крови, тонуса вен; отношение амплитуды дикротической волны к РИ).

Из количественных данных составляли невзвешенные вариационные ряды. Вычисляли M – среднее арифметическое значение вариационного ряда; σ – среднеквадратичное отклонение; m – ошибку среднего значения на основании n – количества наблюдений. Об отклонениях судили на основании статистически достоверных различий между средними, которые опре-

деляли с помощью непараметрического критерия Вилкоксона–Манна–Уитни для независимых выборок. Анализ проводили с помощью Microsoft Excel 2013. Трактовка результатов осуществлялась на основании общепринятой методики расшифровки реовазограмм [9].

Результаты исследования и их обсуждение

У всех пациентов базовый импеданс (БИ) внутрикостных тканей всегда был меньше БИ параоссальных тканей (табл. 1).

Сопоставления не выявили статистически достоверных различий между параметрами пульсовой волны во внутрикостных тканях крыши вертлужной впадины и головки бедренной кости, головки бедренной кости и снаружи от метаэпифизарной зоны роста бедренной кости. В остальных случаях статистически достоверные различия между отдельными параметрами пульсовой волны имелись (табл. 2).

У детей до 6 лет, в отличие от всех пациентов, во внутрикостных тканях головки бедренных костей АБКН составляла 0,0059 ± 0,0012 Ом (57 %, $p < 0,05$), АМКН – 0,0079 ± 0,0022 Ом (56 %, $p < 0,05$), РИ – 0,0138 ± 0,0034 Ом (56 %, $p < 0,05$), СсБКН – 0,1155 ± 0,0286 Ом/с (57 %, $p < 0,05$), СсМКН – 0,1258 ± 0,0232 Ом/с (49 %, $p < 0,05$), СсКН – 0,1203 ± 0,0254 Ом/с (53 %, $p < 0,05$), ППСС – 107,0 ± 5,9 % (143 %, $p < 0,05$). В крыше вертлужных впадин ВМКН составляло 0,0425 ± 0,0023 с (85 %, $p < 0,05$), в параоссальных тканях крыши вертлужных впадин ДСИ составлял 26,9 ± 3,7 % (57 %, $p < 0,05$).

У детей к трехлетнему возрасту происходит регресс сосудистой системы хряща головки бедренной кости – восходящих метафизарных сосудов, дорсомедиальных эпифизарных сосудов и сосудов круглой связки [10]. Кровообращение в головке бедренной кости обеспечивают дорсолатеральные эпифизарные сосуды, кровоток по которым у пациентов с болезнью Пертеса нарушен [11, 12]. По данным I. Battory, причиной нарушений кровотока служит гипоплазия эпифизарных сосудов, следствием которой является латентная (клинически не проявляющаяся) недостаточность кровообращения [13]. Кроме гипоплазии сосудов, ограничению кровообращения способствуют аномалии сосудов конечности и ангиоспазм, выявленные с помощью селективной ангиографии, КТ и МРТ [6]. По мнению L.N. Craveiro, латентная ишемия растущего тазобедренного сустава – это отдельная патология, реализующаяся в остеохондропатию тазобедренного сустава [14].

Обследовали пациентов, у которых окклюзия участка сосудистого русла уже произошла и кровообращение в головке бедренной кости «стабилизировалось». Однако аномалия сосудов конечности осталась и поддерживала условия латентной ишемии. И, так как возможны разные аномалии сосудов, сравнивали результаты исследований пациентов определенного возраста или варианта патологии с совокупностью данных всех пациентов.

Таблица 1

Параметры пульсового кровенаполнения в компонентах тазобедренных суставов (n = 54)

№	Параметры	Крыша вертлужной впадины		Бедренная кость		
		Внутрикостные ткани	Параоссальные ткани	Внутрикостные ткани головки	Внутрикостные ткани зоны роста	Параоссальные ткани
		1	2	3	4	5
1	БИ, Ом	58,9 ± 5,9	90,1 ± 9,1	68,7 ± 5,6	70,8 ± 4,9	101,1 ± 5,3
2	RR, с	0,5403 ± 0,0123	0,5403 ± 0,0123	0,5419 ± 0,0117	0,5497 ± 0,0108	0,5497 ± 0,0082
3	ВБКН, с	0,0491 ± 0,0008	0,0497 ± 0,0008	0,0505 ± 0,0010	0,0518 ± 0,0009	0,0537 ± 0,0012
4	ВМКН, с	0,0498 ± 0,0020	0,0471 ± 0,0016	0,0566 ± 0,0032	0,0598 ± 0,0020	0,0616 ± 0,0018
5	ВМСН, с	0,0990 ± 0,0023	0,0968 ± 0,0019	0,1071 ± 0,0038	0,1116 ± 0,0025	0,1153 ± 0,0024
6	АБКН, Ом	0,0105 ± 0,0015	0,0185 ± 0,0029	0,0104 ± 0,0017	0,0130 ± 0,0022	0,0161 ± 0,0013
7	АМКН, Ом	0,0141 ± 0,0016	0,0181 ± 0,0024	0,0140 ± 0,0019	0,0154 ± 0,0017	0,0230 ± 0,0020
8	РИ, Ом	0,0246 ± 0,0030	0,0366 ± 0,0048	0,0245 ± 0,0035	0,0284 ± 0,0034	0,0391 ± 0,0029
9	ООП, Ом	0,5022 ± 0,0543	0,4046 ± 0,0436	0,3687 ± 0,0657	0,4059 ± 0,0381	0,4060 ± 0,0324
10	СсБКН, Ом/с	0,2122 ± 0,0299	0,3848 ± 0,0640	0,2026 ± 0,0317	0,2514 ± 0,0425	0,2955 ± 0,0219
11	СсМКН, Ом/с	0,2819 ± 0,0289	0,3940 ± 0,0543	0,2567 ± 0,0372	0,2676 ± 0,0370	0,3922 ± 0,0394
11	СсКН, Ом/с	0,2440 ± 0,0271	0,3877 ± 0,0537	0,2291 ± 0,0335	0,2579 ± 0,0323	0,3032 ± 0,0258
13	ППСС,%	78,1 ± 5,5	77,4 ± 9,7	74,6 ± 7,3	89,1 ± 2,5	74,3 ± 2,7
14	ДКИ,%	55,7 ± 8,2	40,6 ± 6,0	46,1 ± 6,2	52,0 ± 3,6	49,2 ± 4,3
14	ДСИ,%	51,7 ± 4,9	47,5 ± 7,2	58,6 ± 5,8	65,5 ± 4,7	56,5 ± 6,2

Таблица 2

Уровень статистической значимости различий между параметрами пульсового кровенаполнения у совокупности пациентов с болезнью Пертеса

№	Параметры	Внутрикостные ткани зоны роста / крыши вертлужной впадины		Крыша вертлужной впадины, внутрикостные/ параоссальные ткани		Головка бедренной ости, внутрикостные / параоссальные ткани		Зона роста бедренной кости, внутрикостные / параоссальные ткани		Параоссальные ткани бедренной кости / крыши вертлужной впадины	
		1		2		3		4		5	
		p<	%	p<	%	p<	%	p<	%	p<	%
1	БИ, Ом		120	0,01	65	0,001	68		70		112
2	RR, с		102		100		99		100		102
3	ВБКН, с	0,05	105		99	0,05	94		96	0,01	108
4	ВМКН, с	0,001	120		106		92		97	0,01	131
5	ВМСН, с	0,001	113		102		93		97	0,01	119
6	АБКН, Ом		124	0,05	57	0,01	65		81		87
7	АМКН, Ом		109		78	0,01	61	0,05	67		127
8	РИ, Ом		116	0,05	67	0,01	63	0,05	73		107
9	ООП, $_{1/000}$		81		124		91		100		100
10	СсБКН, Ом/с		118	0,05	55	0,05	69		85		77
11	СсМКН, м/с		95		72	0,05	65	0,05	68		100
12	СсКН, Ом/с		106	0,05	63	0,05	67	0,05	75		89
13	ППСС,%	0,01	124		93		100	0,001	120		96
14	ДКИ,%		93		137		94		106		121
15	ДСИ,%	0,01	127		109		104		116		119

Условия наркоза исключали перераспределение кровообращения вследствие функциональных нагрузок, поэтому доверительные интервалы считали диапазоном изменений параметров пульсовой волны в покое. Пульсовые волны регистрировали одновременно в параоссальных и внутрикостных тканях, вследствие чего статистически достоверные различия между их величинами относили к показателю различия пульсового кровенаполнения.

Зондирующий электрический ток замыкается от спицы к гематоме вокруг спицы, далее по крови (электролиту), наполняющей микроциркуляторное русло и внутриорганные артерии, к просвету органной артерии и в обратном порядке – ко второй спице. Замыкание происходит преимущественно по сосудам, оказывающим наименьшее сопротивление зондирующему току, – наиболее наполненным кровью. Поэтому необходимым условием проведения исследований внутрикостных тканей было снижение сопротивления их сосудов электрическому току, что создавали уменьшением расстояния между концами спиц в кости и подтверждали снижением базового импеданса (БИ) внутрикостных тканей относительно БИ параоссальных тканей.

У совокупности пациентов тонус органной и внутриорганных артерий параоссальных тканей проксимального отдела бедренных костей был выше, чем параоссальных тканей крыши вертлужных впадин. Однако параметры пульсового кровенаполнения тканей не имели статистически достоверных различий. Статистически достоверное повышение тонуса стенок артерии оценивали как показатель окклюзии артерии. Вероятно, были окклюзированы органная (ветвь магистральной артерии) и часть внутриорганных артерий параоссальных тканей проксимального отдела бедренных костей при компенсации недостаточности кровообращения за счет сосудистых взаимосвязей – путей коллатерального тока крови.

Не выявлены статистически достоверные различия между параметрами пульсовой волны во внутрикостных тканях крыши вертлужной впадины и головки бедренных костей, головки бедренных костей и снаружи от метаэпифизарной зоны роста бедренных костей. Однако во внутрикостных тканях снаружи от метаэпифизарной зоны роста бедренных костей тонус стенок органной и внутриорганных артерий, а также периферическое сосудистое сопротивление были выше и отток крови затруднен относительно величин во внутрикостных тканях крыши вертлужной впадины. Вероятно, из-за окклюзии артерий параоссальных тканей проксимального отдела бедренных костей приток крови к внутрикостным тканям снаружи от метаэпифизарной зоны ро-

ста бедренных костей был снижен. Из этого следует, что из-за окклюзии/аномалии сосудов вероятность возрастных изменений проксимального отдела бедренных костей выше, чем крыши вертлужных впадин.

У всех пациентов во всех компонентах тазобедренных суставов выявлено статистически достоверное снижение пульсового кровенаполнения (РИ) и скорости пульсового кровенаполнения (СсКН) во внутрикостных тканях относительно соответствующих параоссальных тканей. Однако во внутрикостных тканях крыши вертлужных впадин причиной было ограничение пульсового кровенаполнения в органной артерии, во внутрикостных тканях снаружи от метаэпифизарной зоны роста – внутриорганных артерий одновременно с повышением периферического сосудистого сопротивления, в головке бедренных костей – органных и внутриорганных артерий. Вероятно, причинами были аномалии сосудистого русла конечности, продолжающие оказывать влияние на кровообращение в компонентах тазобедренных суставов.

Таким образом, при болезни Пертеса после появления изменений в головке бедренных костей аномалия сосудов конечности продолжает оказывать влияние на пульсовое кровенаполнение тканей компонентов тазобедренного сустава.

У пациентов до 6 лет относительно совокупных данных всех пациентов выявлено снижение пульсового кровенаполнения, а также скорости пульсового кровенаполнения только во внутрикостных тканях головки бедренных костей. Выявлены также снижение тонуса стенок внутриорганных артерий внутрикостных тканей крыши вертлужных впадин и сопротивление оттоку крови в параоссальных тканях вертлужных впадин.

На основании снижения тонуса стенок внутриорганных артерий приток крови к внутрикостным тканям крыши вертлужных впадин был увеличен, но отток крови от этих тканей в вены параоссальных тканей снижен. Из этого следует, что у пациентов функционировали артерии круглой связки головки бедренной кости и кровь из внутриорганных артерий внутрикостных тканей крыши вертлужных впадин поступала в головку бедренных костей.

На основании снижения пульсового кровенаполнения в головке бедренных костей можно заключить, что, вероятно, у пациентов этой возрастной группы аномалии сосудов конечности оказывали влияние только на кровообращение в головке бедренных костей. Из этого следует, что в данной возрастной группе пациентов вероятны ограничения интенсивности регенерации тканей только в головке бедренных костей, изменения проксимального отдела бедренных костей маловероятны.

Заключение

Исследования показали, что при болезни Пертеса после окклюзии участка сосудистого русла головки бедренных костей аномалии сосудистого русла конечности, являющиеся одной из причин развития заболевания, продолжают оказывать влияние и ограничивают кровообращение в компонентах тазобедренного сустава. У детей до 6 лет артерии круглой связки головки бедренных костей могут участвовать в компенсации недостаточности кровообращения в головке бедренных костей. В возрастной группе детей до 6 лет влияние аномалии сосудистого русла конечности ограничивается головкой бедренной кости, выражается ишемией внутрикостных тканей, вследствие которой возможны ограничения интенсивности регенерации тканей.

Список литературы

1. Herring J. Legg-Calve´-Perthes Disease at 100: A Review of Evidence-based Treatment. J. Pediatr. Orthop. 2011. V. 31. P. 137–140.

2. Fabry K., Fabry G., Moens P. Legg-Calvé-Perthes disease in patients under 5 years of age does not always result in a good outcome. J. Pediatr. Orthop. B. 2003. **V.** 12(3). P. 222–227.

3. Joseph B., Price C. Principles of Containment Treatment Aimed at Preventing Femoral Head Deformation in Perthes Disease. Orthop. Clin. N. Am. 2011. V. 42. P. 317–327.

4. Cheng J., Tsz Ping Lam, Bobby Kw Ng. Prognosis and Prognostic Factors of Legg-Calve-Perthes Disease. J. Pediatr. Orthop. 2011. V. 31. P. 147–151.

5. Joseph B Prognostic Factors and Outcome Measures in Perthes Disease. Orthop. Clin. N. Am. 2011. **V.** 42. P. 303–315.

6. Kim H.K., Wiesman K.D., Kulkarn V. et al. Perfusion MRI in early stage of Legg-Calve-Perthes' disease to predict lateral pillar involvement. A preliminary study. J. Bone Joint Surg. Am. 2014. **V.** 96 (14). P. 1152–1160.

7. Вицлеб Э. Функции сосудистой системы // Физиология человека: в 3-х томах. Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. 3-е изд. Т. 2. М.: Мир, 2005. С. 498–566.

8. Бунов В.С., Олейников Е.В., Парфенов Э.М. Изменения гемодинамики в компонентах тазобедренного сустава у пациента с болезнью Пертеса в периоде лечения с помощью аппарата Илизарова (в помощь практическому врачу и исследователю) // Гений ортопедии. 2013. № 1. С. 128–131.

9. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Реоэнцефалография. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. 5-е изд. М.: МЕДпресс-информ. 2013, С. 313–380.

10. Kim H., Herring J. Pathophysiology, Classifications, and Natural History of Perthes Disease. Orthop. Clin. N. Am. 2011. V. 42. P. 285–295.

11. Perry D., Hall A. The Epidemiology and Etiology of Perthes Disease. Orthop. Clin. N. Am. 2011. V. 42. P. 279–283.

12. Kim H. Pathophysiology and New Strategies for the Treatment of Legg-Calvre-Perthes Disease. J. Bone Joint Surg. Am. 2012. V. 94. P. 659–69.

13. Batory I. Opinions on and comparative observations about the etiology of Legg-Calve-Perthes disease. Arch. Orthop. Trauma Surg. 1982. V. 100 (3). P. 151–162.

14. Craveiro LN. Legg-Calve-Perthes disease. Current Concept Review. Rev. Port. Ortop. Traum. 1994. V. 2 (1). P. 75–79.

УДК 616.1:611.98:616-085

МАГНИТОТЕРАПИЯ С АУДИО-МУЗЫКАЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ АНГИОПАТИИ СОСУДОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Косякова Н.И., Сандалова Т.В., Ильеня Э.Л., Панкратова Е.В., Матрусов С.Г.
Больница ПНЦ РАН, Пущино, e-mail: nelia_kosiakova@mail.ru

Целью настоящего исследования стало изучение эффективности общей магнитотерапии (ОМТ) с аудио-музыкальным воздействием (АМВ) в комплексном лечении диабетической ангиопатии сосудов нижних конечностей (ДАСНК). Проанализировано течение заболевания у 134 пациентов с верифицированным диагнозом СД2 и у 55 пациентов с ДАСНК; изучена в динамике эффективность комплексной медикаментозной терапии в сочетании с локальной магнитотерапией (ЛМТ), ОМТ и ОМТ с АМВ. Проведено стандартное клинико-лабораторное и инструментальное обследование, изучено качество жизни до и через 6 месяцев после терапии. Результаты исследования позволили обратить внимание на достаточно раннее появление симптомов диабетической ангиопатии у больных СД2, что дает основание рекомендовать дуплексное сканирование артерий нижних конечностей по стандартной методике всем больным с впервые установленным диагнозом СД2 и контролировать эффективность терапии в динамике. Дополнение медикаментозной терапии физиотерапевтическими методами улучшило общее самочувствие больных, их качество жизни, показатели липидного профиля, а также позволило снизить клинически значимые колебания уровня глюкозы в крови. Лучшие результаты были получены при ОМТ с АМВ. Установлена эффективность продолжительности курса ОМТ и ОМТ с АМВ. Выводы. Пациенты с впервые установленным диагнозом СД2 нуждаются в дуплексном сканировании артерий нижних конечностей для ранней диагностики ангиопатии сосудов нижних конечностей. Показана эффективность физиотерапевтических методов терапии в комплексном лечении пациентов с СД2 Установлено, что курс в пять процедур ОМТ и ОМТ с аудио-музыкальным воздействием недостаточен для достижения стабильного течения заболевания.

Ключевые слова: магнитотерапия, лечение, музыка, диабетическая ангиопатия

MAGNETIC THERAPY WITH AUDIO-MUSICAL EFFECTS IN THE COMPLEX TREATMENT OF DIABETIC ANGIOPATHY OF LOWER LIMB VESSELS

Kosyakova N.I., Sandalova T.V., Ilenya E.L., Pankratova E.V., Matrusov S.G.
PNC RAS Hospital, Puschino, e-mail: nelia_kosiakova@mail.ru

The purpose of this study was to study the effectiveness of General magnetic therapy (OMT) using audio-musical effects (AMV) in complex treatment of diabetic lower limb vascular angiopathy (DASNA). The course of disease was analyzed in 134 patients with a verified diagnosis of Dm2t. and in 55 patients with DASNA. The effectiveness of complex drug therapy in combination with local magnetic therapy (LMT), OMT and OMT with AMV was studied in dynamics. Standard clinical, laboratory, and instrumental examinations, as well as the quality of life was studies before and 6 months after therapy were performed. The results of our investigathion allowed us to pay attention to early symptoms of diabetic angiopathy in DM2 patients, that gives reason to recommend duplex scanning of lower limb arteries according to standard methods for DM2 all patients and monitor the effectiveness of therapy in dynamics. The addition of medical therapy with physiotherapy methods improved the General well-being of patients, their quality of life, lipid profile indicators, and reduced clinically significant fluctuations in blood glucose levels. The best results were obtained with OMT and with AMV. The effectiveness of the duration of the course of OMT and OMT using AMV was established. Conclusions: Patients with newly diagnosed Dm2t need duplex scanning of lower limb arteries for early diagnosis of lower limb vascular angiopathy. The effectiveness of physiotherapy methods in the complex treatment of patients with Dm2t is shown. It was found that a course of five procedures of OMT and OMT with audio-music exposure is not sufficient to achieve a stable course of the disease.

Keywords: magnetic therapy, treatment, music, diabetic angiopathy

В структуре хронических неинфекционных заболеваний сахарный диабет (СД) занимает одно из ведущих мест и сопровождается ранним развитием осложнений, снижением качества жизни (КЖ). По данным эпидемиологических исследований общая численность пациентов с СД в РФ на 01.01.2019 составила 4 584 575 (3,12% населения РФ), в том числе СД1 – 256,2 тыс., СД2 – 4,24 млн, а с 2000 г. численность пациентов с СД в РФ выросла в 2,2 раза [1]. Общепризнано, что прогноз заболевания во многом определяется характером сосудистых осложнений с поражением сосудов как мелкого (микроангиопатия), так среднего и крупного калибра (макроангиопатия). Именно эти осложнения приводят к ранней инвалидизации и смертности больных СД [2, 3]. Во всех клинических рекомендациях основными методами лечения принято считать диетотерапию, пероральные сахароснижающие препараты, инсулинотерапию, другие патогенетические и симптоматические фармакологические препараты. Однако с учетом недостаточной эффективности только этих методов лечения важ-

ную роль в комплексной терапии играют физиотерапевтические процедуры, которые могут повысить эффективность терапии как на стадии преддиабета, так и при выраженных клинических проявлениях диабета I и II типов, а также при лечении осложнений (ангиопатия, полинейропатия и др.) [4, 5]. Используются вакуумная электростимулирующая терапия в сочетании с низкочастотным ультразвуком, локальная магнитотерапия (ЛМТ), баротерапия, лазеротерапия, фитотерапия [6, 7]. Сочетание медикаментозных и немедикаментозных методов лечения позволило сократить сроки лечения, улучшить показатели клинико-метаболической компенсации сахарного диабета, снизить риск прогрессирования развития тяжелых сосудистых осложнений. В последнее время перспективным направлением физиотерапии считается общая магнитотерапия (ОМТ), которая оказывает репаративный, иммуномодулирующий, антиоксидантный эффекты, способствует улучшению показателей микроциркуляции [8].

В работах [9, 10] были показаны спазмолитические, антигипертензивные, гиполипидемические и гипокоагуляционные эффекты низкочастотных магнитных полей (МП) на функции эндокринной, сердечно-сосудистой и нервной систем. Особый интерес представляет метод музыкотерапии как метод психологической коррекции, в основе которого лежит комплексное воздействие на организм посредством слухового, биорезонансного и вибротактильного факторов [11]. Ранее в работе [12] были представлены результаты экспериментального анализа ключевых параметров музыкальных воздействий, управляемых по принципу обратной связи узкочастотными электроэнцефалографическими (ЭЭГ) осцилляторами пациента. Установлено, что применение таких воздействий к концу первой лечебной процедуры способствует нормализации ЭЭГ и позитивно влияет на психическое состояние пациентов.

Цель исследования: изучить эффективность магнитотерапии (МТ) с аудио-музыкальным воздействием в комплексном лечении диабетической ангиопатии сосудов нижних конечностей.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе дневного стационара и отделения физиотерапии Больницы ПНЦ РАН в рамках госзадания по программе № 0479-2018-0002 после подписания пациентами информированного согласия и одобрения локального этического комитета Б ПНЦ РАН. Было обследовано 134 пациента с верифицированным диагнозом сахарного диабета 2 типа в возрасте от 40 лет до 80 лет. Средний возраст составил 62,3 ± 12,3 года. Всем проводилось стандартное клинико-лабораторное исследование углеводного и липидного обмена на базе клинико-диагностической лаборатории Б ПНЦ РАН. Для оценки состояния углеводного обмена определялся уровень глюкозы крови натощак и через 2 ч после приема пищи (постпрандиальная гликемия). С целью определения состояния компенсации углеводного обмена анализировался уровень гликированного гемоглобина фракция A1c (HbA1c) количественным иммунотурбидиметрическим методом с латексным усилением и непосредственным определением HbA1c без измерения общего гемоглобина. Набор реагентов «DiaSys» (Германия), референсные значения: 4,5–6,5 % от общего содержания гемоглобина.

Липидный обмен оценивали по показателям общего холестерина, уровня суммарных триглицеридов (ТГ), фракций липопротеидов высокой (ЛПВП) и низкой плотности (ЛПНП) методом ферментативного фотометрического теста на биохимическом автоматическом анализаторе Dirui CS400 (КНР) с использованием наборов соответствующих реагентов АО «Диакон-ДС» (Россия) и «DiaSys» (Германия). Референсные значения холестерина крови: общий – 3,1–5,2 ммоль/л; ЛПВП – > 1,42–1,68 ммоль/л; ЛПНП – < 3,9 ммоль/л; ТГ – 0,14–1,82 ммоль/л. Для оценки степени повреждения стенок сосудов нижних конечностей использовали ультразвуковой сканер марки Toshiba xario (Япония) с мультичастотным датчиком линейного формата в частотном диапазоне 7–12 МГц. В процессе исследования оценивали: состояние стенок брюшного отдела аорты, комплекс «интима-медиа» (КИМ) общей бедренной артерии (эхогенность, толщину, дифференцировку на слои), проходимость, наличие и структуру внутрипросветных образований (бляшек, тромбов), степень стенозирования артерий. Наряду с базисной терапией диетой, сахароснижающими и метаболическими препаратами пациентам назначалось физиотерапевтическое лечение: локальная (ЛМТ), общая магнитотерапия (ОМТ) и ОМТ с аудио-музыкальным воздействием (АМВ). Критериями невключения в группы наблюдения являлись: наличие пароксизмальной или постоянной формы мерцательной аритмии, неконтролируемая гипертония, наличие имплантированного электрокардиостимулятора, склонность к кровотечениям, тромбофлебит в анамнезе, туберкулез и другие инфекционные заболевания, онкозаболевания, психические заболевания,

беременность и период грудного вскармливания, индивидуальная непереносимость.

Методом случай – контроль было сформировано 4 группы наблюдения:

1 гр. (n = 15) – пациенты, получающие базисную терапию + локальную магнитотерапию (ЛМТ) на аппарате Полюс-2М по стандартной методике.

2 гр. (n = 15) – пациенты, получающие базисную терапию + общая магнитотерапия (ОМТ) частотно-модулированных полей на аппарате Магнитотурботрон ЭОЛ «Мадин» по стандартной методике, описанной в инструкции.

3 гр. (n = 10) – пациенты, получающие базисную терапию + общая магнитотерапия (ОМТ) частотно-модулированных полей на аппарате Магнитотурботрон ЭОЛ «Мадин» с АМВ и характеристиками несущей частоты от 50–150 Гц, модуляцией plat, sin L, sin B и индукцией магнитного поля от 0,1–3мТл с экспозицией по времени 30 мин.

4 гр. (n = 15) – пациенты, получающие только базисную терапию.

Пациенты всех групп были сопоставимы по полу, возрасту, клинико-лабораторным показателям течения СД2, материально-бытовым и социальным условиям.

Для оценки качества жизни больных диабетом у обследуемых пациентов использовали русскоязычную версию опросника 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36) [13].

Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью стандартного пакета прикладного статистического анализа компьютерной программы Statistica 8. Различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

При сахарном диабете длительное повышение уровня глюкозы в крови является одной из важных причин значительных метаболических нарушений. Нарушения липидного обмена приводят к образованию атеросклеротических бляшек, снижению эластичности сосудистых стенок, к тромбозу, сужению просвета в кровеносных сосудах, недостаточной васкуляризации внутренних органов [4]. Факторами повышенного риска развития атеросклероза и ангиопатии сосудов нижних конечностей также являются курение, малоподвижный образ жизни, работа с токсическими веществами, возрастные изменения (у мужчин после 45 лет, у женщин после 55 лет). К провоцирующим факторам в развитии диабетической макроангиопатии относятся артериальная гипертензия, инсулинорезистентность, эндотелиальная дисфункция, ожирение и т.д. [14]. Симптомы диабетической ангиопатии нижних конечностей 1–2-ой степени тяжести были у всех включенных в исследование пациентов (n = 55) и были обусловлены как специфическими для сахарного диабета изменениями, так и атеросклеротическим процессом в сосудах. Продолжительность заболевания с момента верификации диагноза в среднем составляла 6,3 ± 1,8 лет. Пациенты жаловались на онемение, похолодание, ползание мурашек, затем присоединялась сухость, бледность и истончение кожи нижних конечностей. Дистрофические изменения ногтей были выявлены у 9 пациентов из 55. Ощущение онемения, похолодания и мурашки появлялись в области стоп, голени, икроножных мышц.

У 22 пациентов (1 гр. – 5, 2 гр. – 7, 3 гр. – 6, 4 гр. – 4) в течение последнего года стали появляться боли в мышцах ног. Изначально боль возникала при ходьбе, что вынуждало пациентов остановиться. С момента верификации диагноза СД2 эти симптомы появились через 4–5 лет, уровень глюкозы в крови длительное время они имели более 7,0 мМоль/л и гликированный гемоглобин более 7,0. Индекс массы тела был повышен у 34 пациентов, активно курили 23 пациента, более года назад прекратили курить 7 больных, повышенное артериальное давление регистрировалось у 47 пациентов.

На фоне проводимой комплексной терапии отмечено быстрое улучшение клинической симптоматики. Боли в ногах прошли после 3–4 процедуры ОМТ с АВМ, значительно уменьшилась зябкость, онемение, ощущение мурашек. После использования ОМТ эти симптомы уменьшились после 5–6 процедуры, после ЛМТ симптомы уменьшились после 6–7 процедуры и в 4-й группе наблюдения – к 8–10 дню лечения. После проведенного лечения клинический эффект сохранялся более трех месяцев в 3-й гр. наблюдения, до трех месяцев – во 2 гр. и через 1–2 месяца симптомы возвращались у пациентов 1 гр., менее месяца клинический эффект сохранялся у пациентов 4 гр. наблюдения.

Показатели углеводного и липидного обмена у больных СД 2 типа до начала терапии представлены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что у всех пациентов выявлялись гиперхолестеринемия и дислипидемия. Целевыми цифрами компенсации гликемии считается уровень глюкозы натощак до 7 ммоль/л, постпрандиальный уровень – до 10,9 ммоль/л. У всех пациентов имело место нарушение углеводного обмена на фоне стандартной медикаментозной терапии, отсутствие достижения целевых значений гликированного гемоглобина.

Таблица 1

Показатели углеводного и липидного обмена у больных СД 2 типа до начала терапии

Наименование показателя	Первая группа (n = 15)	Вторая группа (n = 15)	Третья группа (n = 10)	Четвертая группа (n = 15)
ИМТ, кг/м^2	33,1 ± 2,1	35,1 ± 2,7	34,3 ± 1,7	34,2 ± 1,9
Гликемия натощак, мМоль/л	8,22 ± 0,5	8,89 ± 0,31	8,26 ± 0,29	8,19 ± 0,7
Постпрандиальная гликемия, мМоль/л	10,92 ± 0,97	11,93 ± 0,88	11,04 ± 0,62	11,02 ± 0,67
HbA1c%	8,33 ± 0,92	8,91 ± 1,11	8,46 ± 0,94	8,43 ± 0,89
Липидный обмен				
ХС, мМоль/л	6,5 ± 0,7	7,1 ± 0,9	6,9 ± 0,8	6,8 ± 0,4
ТГ, мМоль/л	3,1 ± 0,6	3,4 ± 0,4	3,2 ± 0,2	3,1 ± 0,9
ЛПВП, мМоль/л	1,6 ± 0,5	1,8 ± 0,5	1,9 ± 0,4	1,7 ± 0,6
ЛПНП, мМоль/л	4,7 ± 0,7	5,3 ± 0,4	4,9 ± 0,3	5,1 ± 0,6

$p < 0,05$

Таблица 2

Оценка нарушений углеводного обмена до начала терапии и через 3 месяца комплексной медикаментозной терапии с применением физиотерапевтических методов

Наименование показателя	До начала терапии				Через 3 месяца после терапии			
	1 гр.	2 гр.	3 гр.	4 гр.	1 гр.	2 гр.	3 гр.	4 гр.
Гликемия натощак, мМоль/л	8,2 ± 0,5	8,89 ± 0,31	8,26 ± 0,29	8,19 ± 0,7	7,6 ± 0,7*	7,3 ± 0,6*	7,0 ± 0,8*	8, 1 ± 0,4
Постпрандиальная гликемия, мМоль/л	10,7 ± 0,9	11,93 ± 0,88	11,04 ± 0,62	11,02 ± 0,67	8,9 ± 0,6*	8,3 ± 0,8*	7,9 ± 0,9*	10,4 ± 0,7
HвA1c%	8,3 ± 0,9	8,91 ± 1,11	8,46 ± 0,94	8,43 ± 0,89	7,6 ± 0,5*	7,4 ± 0,9*	7,2 ± 0,6*	8,2 ± 0,6

Примечание.* – $p < 0,05$.

Динамика показателей углеводного обмена у больных СД 2 типа через 3 месяца после терапии представлена в табл. 2.

Включение в комплексную терапию ОМТ и ОМТ с АМВ у больных с ДАСНК позволило добиться положительной тенденции к снижению массы тела, уровня гипергликемии натощак и после еды. У пациентов 1 гр. также наблюдалась тенденция к улучшению показателей углеводного обмена, что не наблюдалось на фоне только стандартной медикаментозной терапии у пациентов 4 гр. Такая же тенденция прослеживалась и при анализе показателей липидного обмена.

Всем пациентам выполнялось дуплексное сканирование артерий нижних конечностей по стандартной методике, которое включало в себя исследование брюшного отдела аорты на всем протяжении, общих подвздошных, наружных, общих бедренных, поверхностных и глубоких бедренных артерий, артерий берцово-подколенного сегмента и артерий стопы, включая пальцевые артерии, оценку состояния стенок брюшного отдела аорты, комплекса «интима-медиа» (КИМ) общей бедренной артерии (эхогенность, толщину, дифференцировку на слои), проходимость, наличие и структуру внутрипросветных образований (бляшек, тромбов), степень стенозирования артерий. Толщина комплекса «интима-медиа» КИМ в группе условно здоровых не превышала значений 0,09 ± 0,02 см. Средние значения КИМв первой группе составили 0,14 ± 0,07 см, во второй – 0,15 ± 0,09 см, в третьей – 0,14 ± 0,11 см и в 4 гр. – 0,15 ± 0,06 см при $p < 0,005$. При анализе состояния КИМ были выявлены изменения в виде появления дополнительных слоев повышенной и пониженной эхогенности. В структуре КИМ у пациентов отмечалось наличие множественных, гиперэхогенных, мелких включений с полной утратой ее дифференцировки на слои. Бляшки по структуре имели выраженную неоднородность, были кальцинированными, с наличием множественных, узких акустических теней. На фоне ОМТ толщина КИМ через 3 месяца уменьшалась в среднем на 0,04 ± 0,02 см, на фоне только ЛМТ отмечено уменьшение на 0,02 ± 0,07 см, у пациентов 4 гр. уменьшения не наблюда-

лось. Для пациентов 3 гр. индивидуально проводился подбор частоты электромагнитных, электрических и аудио-визуальных воздействий. До применения ОМТ с АМВ все 10 пациентов имели утолщение комплекса «интима-медиа» 0,14 ± 0,11 см.

У 6 пациентов был выявлен гемодинамически значимый стеноз на уровне сосудов голени. После курса терапии из пяти процедур наметилась положительная динамика, через 3 месяца после 10 процедур ОМТ с АМВ толщина КИМ уменьшилась на 0,05 ± 0,04 см, что дает основание считать недостаточным курс процедур из пяти сеансов, несмотря на клиническое и лабораторное улучшение. При анализе качества жизни с использованием опросника SF-36 через 3 месяца было установлено, что у больных 3-й группы показатели физической активности были выше по сравнению с показателями 1-й, 2-й и 4-й групп наблюдения и составили 62,4 ± 5,2 балла, в 1 гр. – 49,8 ± 6,3, во 2 гр. – 54,9 ± 6,9 и в 4 гр. – 46,1 ± 6,8 балла при $p < 0,05$. Такая же тенденция отмечена и при анализе эмоционального статуса (соответственно 72,3 ± 4,9 – 58,9 ± 7,3 – 64,6 ± 7,1 – 51,9 ± 6,3 балла при $p < 0,05$).

Заключение

Результаты исследования позволили обратить внимание на раннее появление симптомов диабетической ангиопатии у больных СД2, что дает основание рекомендовать дуплексное сканирование артерий нижних конечностей по стандартной методике всем больным с впервые установленным диагнозом СД2 и контролировать эффективность терапии в динамике.

Включение в комплексное лечение физиотерапевтических методов (ЛМТ и ОМТ) позволило улучшить основные клинико-лабораторные показатели и показатели качества жизни.

Комплексная медикаментозная терапия и общая магнитотерапия с аудио-музыкальным воздействием значительно улучшила общее самочувствие больных, их качество жизни, позволила добиться положительной тенденции к снижению массы тела, показателей липидного профиля, уменьшила клинически значимые колебания уровня глюкозы в крови, показатели гликированного гемоглобина, что дает основание рекомендовать данный вид физиотерапии. Дальнейшая реализация индивидуального подхода позволит выделить наиболее эффективные параметры магнитных полей с аудио-музыкальным воздействием в разных возрастных группах при лечении и профилактике диабетической ангиопатии сосудов нижних конечностей.

Авторы выражают благодарность Банниковой Н.П., Акимовой О.Н., Буробиной Т.В., Макаровой О.Г. за оказанную помощь в работе.

Список литературы

1. Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А., Дедов И.И. Эпидемиология сахарного диабета в Российской Федерации: что изменилось за последнее десятилетие // Терапевтический архив. 2019. № 10. С. 4–13.

2. Строков И.А., Фокина А.С. Новые возможности лечения диабетических осложнений // Российский медицинский журнал. 2012. № 20. С. 996.

3. GBD 2015 Risk Factors Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet. 2016. v. 388. no. 10053. P. 1659–1724.

4. Галстян Г.Р., Токмакова А.Ю., Егорова Д.Н., Митиш В.А., Пасхалова Ю.С., Анциферов М.Б., Комелягина Е.Ю., Удовиченко О.В., Гурьева И.В., Береговский В.Б., Ерошкин И.А., Ерошенко Ан.В., Ерошенко Ал.В. Клинические рекомендации по диагностике и лечению синдрома диабетической стопы // Раны и раневые инфекции. Журнал имени проф. Б.М. Костючёнка. 2015. Т. 2 № 3. С 63–83.

5. Дедов И.И. Сахарный диабет – опаснейший вызов мировому сообществу // Вестник РАМН. 2012. № 1. С. 7–13.

6. Антонюк М.В., Симонова И.Н. Лечение сахарного диабета физическими факторами // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2016. Т. 67. № 4. С. 55–65. DOI: 10.18411/hmes.d-2016-154.

7. Шарофова М.У., Сагдиева Ш.С., Юсуфи С.Д. Сахарный диабет: современное состояние вопроса (ч. 1) // Вестник Авиценны. 2019. Т. 21. № 3. С. 502–512. DOI: 10.25005/2074-0581-2019-21-3-502-512.

8. Куликов А.Г., Сергеева Г.М. Клиническое применение общей магнитотерапии // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2008. № 3. С. 40–44.

9. Рудыкина О.А., Грехов Р.А., Сулейманова Г.П., Адамович Е.И. Электромагнитное поле и его влияние на физиологические процессы в организме человека. // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2016. Т. 17. № 3. С. 54–61. DOI: 10.15688/jvolsu11.2016.3.7.

10. Улащик В.С. Магнитотерапия: современные представления о механизмах действия магнитных полей на организм // Здравоохранение. 2015. № 11. С. 21–29.

11. Шушарджан С.В. Музыкотерапия: история и перспективы // Клиническая медицина. 2000. № 3. С. 15–23.

12. Матрусов С.Г., Федотчев А.И. Нелекарственная коррекция функциональных расстройств на основе сигналов обратной связи от ЭЭГ-осцилляторов пациента // Вестник психотерапии. 2013. № 47. С. 15–22.

13. Ware J.E., Sherbourne C.D. The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. Medical Care, 1992. v. 30. no. 6. P. 473–483.

14. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом / Под ред. И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова. 9-й выпуск (доп.). М., 2019. Т. 18. № 15. С.1–112. DOI: 10.14341/DM221S1-112.

УДК 616.31:615.8

КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕТОВЫХ МЕТОДОВ ФИЗИОТЕРАПИИ В СТОМАТОЛОГИИ

[1]Ларинская А.В., [1]Юркевич А.В., [2]Ушницкий И.Д., [1]Кравченко В.А., [3]Михальченко В.Ф., [3]Михальченко А.В., [1]Щеглов А.В., [2]Семенов А.Д.

[1]ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет», Хабаровск;
[2]ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: incadim@mail.ru;
[3]ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет», Волгоград

В работе представлен обзор механизмов действия и свойств физических методов лечения стоматологических заболеваний. Обобщен опыт применения светового излучения в стоматологии и медицине в целом. При этом проанализировано мнение ведущих специалистов в области физических методов лечения в клинической стоматологии. Световое излучение активно используется в стоматологической практике. При этом одним из актуальных направлений его применения в стоматологии является клиническая эндодонтия, где проблема повышения эффективности лечения остается актуальной и на сегодняшний день. Лазерные технологии с широким диапазоном характеристик открывают новое перспективное направление не только в лечении кариеса и его осложнений, но и в других областях стоматологии. Применение лазеров последнего поколения открывает новые возможности, позволяя врачу-стоматологу предложить пациенту широкий спектр минимально инвазивных и практически безболезненных хирургических вмешательств. Основополагающим этапом эндодонтического лечения, оказывающим существенное влияние на его эффективность, является антимикробная санация системы корневого канала. Наиболее широко применяемыми методами лечения являются ультрафиолетовое и лазерное излучение. При этом проведенные клинические наблюдения в современной эндодонтии показали значительные преимущества применения физических методов для стерилизации корневого канала.

Ключевые слова: физические методы лечения, коротковолновое ультрафиолетовое излучение, лазерные технологии, антимикробный эффект, эндодонтия

CLINICAL CHARACTERISTIC OF CLINICAL INFLUENCE MECHANISM OF LIGHT PHYSIOTHERAPY METHODS IN ODONTOLOGY

[1]Larinskaya A.V., [1]Yurkevich A.V., [2]Ushnitskiy I.D., [1]Kravchenko V.A., [3]Mikhalchenko V.F., [3]Mikhalchenko A.V., [1]Shcheglov A.V., [2]Semenov A.D.

[1]Far East StateMedical University, Khabarovsk,
[2]M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: incadim@mail.ru;
[3]Volgograd State Medical University, Volgograd

The paper provides an overview of the mechanisms of action and properties of physical methods of treating dental diseases. The experience of the use of light radiation in dentistry and medicine in general is summarized. At the same time, the opinion of leading experts in the field of physical treatment methods in clinical dentistry is analyzed. Light radiation is actively used in dental practice. At the same time, clinical endodontics is one of the current areas of its application in dentistry, where the problem of increasing the effectiveness of treatment remains relevant today. Laser technologies with a wide range of characteristics open up a new promising area not only in the treatment of caries and its complications, but also in other areas of dentistry. The use of the latest generation of lasers opens up new possibilities, allowing the dentist to offer the patient a wide range of minimally invasive and virtually painless surgical interventions. The fundamental stage of endodontic treatment, which has a significant impact on its effectiveness, is the antimicrobial rehabilitation of the root canal system. The most commonly used treatment methods are ultraviolet and laser radiation. Moreover, clinical observations in modern endodontics have shown significant advantages of using physical methods to sterilize the root canal.

Keywords: physical methods of treatment, short-wave ultra-violet radiation, laser technologies, antimicrobial effect

Физиотерапевтические методы лечения успешно используются в профилактике, диагностике и терапии заболеваний стоматологического профиля. Данные методы применимы до и после хирургических вмешательств, в лечении воспалительных заболеваний полости рта, при болевом синдроме различной этиологии, а также в реабилитационном периоде. Особенностью физиотерапевтического лечения является постепенное проникновение в ткани различных физических факторов: света, тепла, электрического тока, магнитного излучения и других, что обеспечивает длительный накопительный эффект. Наиболее широко применяемыми методами лечения являются ультрафиолетовое и лазерное излучение [1; 2].

Лазерные технологии с широким диапазоном характеристик открывают новое перспективное направление не только в лечении

кариеса и его осложнений, но и в других областях стоматологии. Применение лазеров последнего поколения открывает новые возможности, позволяя врачу-стоматологу предложить пациенту широкий спектр минимально инвазивных и практически безболезненных хирургических вмешательств, отвечающих высочайшим клиническим стандартам оказания стоматологической помощи. В настоящее время преимущества применения лазеров в стоматологии доказаны практикой и неоспоримы: безопасность, эффективность, точность и быстрота, отсутствие нежелательных побочных проявлений, ограниченное применение анестетиков, экономичность – все это отвечает принципам доказательной медицины и позволяет осуществлять щадящее и безболезненное лечение, ускорение сроков лечения, а, следовательно, создает более комфортные условия и для врача, и для пациента [2].

Применение лазера в лечении пародонтита и пародонтоза на ранних стадиях (легкая и средняя степень пародонтита) позволяет практически полностью исключить ручной кюретаж десневого кармана и достичь исчезновения пародонтологических карманов за счет их стерилизации. Помимо этого, лазерное излучение устраняет воспаление, стимулирует регенерацию тканей и ускоряет процесс выздоровления.

Успешно применяется лазер в стоматологии для лечения герпеса на губах, афтозного стоматита, язв, патологических трещин в уголках губ.

Лазер воздействует на клеточном уровне, испаряя влагу в поврежденных клетках, стимулируя иммунитет здоровых клеток, и помогает за несколько сеансов лечения полностью избавиться от заболевания, вызывая быстрое рубцевание и полное заживление. Лечение лазером снижает повтор этих заболеваний.

С помощью лазера лечат лейкоплакии, красный плоский лишай, удаляют папилломы, фибромы.

Материалы и методы исследования

Предлагаемые в настоящее время стоматологические лазеры разделяются на два вида: мягкого излучения, сторонники которого постулируют их биостимулирующее воздействие на мягкие ткани, и лазеры жесткого излучения, используемые для осуществления инвазивных этапов лечения в стоматологической хирургии, терапии пародонтологических заболеваний и эндодонтии [3].

Лазерный свет обладает широким спектром лечебного и профилактического действия [4]. Он вызывает выраженный противовоспалительный эффект, нормализует микроциркуляцию, понижает проницаемость сосудистых стенок, обладает фибрино-тромболитическими свойствами, стимулирует обмен веществ, регенерацию тканей и повышает содержание кислорода в них, ускоряет заживление ран, предотвращает образование рубцов после операций и травм, оказывает нейротропное, анальгезирующее, миорелаксирующее, десенсибилизирующее, бактериостатическое и бактерицидное действие, стимулирует систему иммунной защиты, снижает патогенность микрофлоры, повышает ее чувствительность к антибиотикам [4].

Возможность снизить распространенность «патогенных микроорганизмов» или даже уничтожить их при помощи монохроматического излучения лазера делает использование последних в качестве эндодонтических средств весьма перспективным. В литературе описано множество вариантов эндодонтического применения монохроматических излучений с различной длиной волн. По данным исследователей, наибольший интерес представляют лазеры, способные генерировать коротковолновое ультрафиолетовое излучение. Было установлено, что данный диапазон обладает наиболее выраженным противомикробным эффектом, в связи с чем способствует более качественной обработке корневых каналов [5].

Указанные свойства лазерного излучения также открывают широкие перспективы его использования в комплексном лечении воспалительных заболеваний пародонта, являющихся одними из самых распространенных в стоматологической практике. Так, по данным ВОЗ, в возрасте 35–44 лет уровень заболеваемости составляет 65–98%, 15–19 лет – 55–89%. По результатам собственных наблюдений, распространенность пародонтальной патологии составляет от 71,36 до 97,27%, при этом существенное влияние на уровень заболеваемости оказывают патологические процессы внутренних органов [5; 6]. Ультрафиолетовое излучение достаточно хорошо изучено и активно применяется в медицине. В целом ультрафиолетовое излучение представляет собой электромагнитные волны с диапазоном длины волны от 400 до 10 нм. Ультрафиолетовые лучи в современной медицине успешно используются в лечебно-профилактических и реабилитационных целях, при этом эффект напрямую зависит от диапазона длины волны.

Выделяют коротковолновое, средневолновое и длинноволновое ультрафиолетовое излучение. Эффекты, оказываемые определенным видом излучения, весьма вариа-

бельны и определенным образом действуют на организм человека. Воздействие может быть обусловлено механизмами фотолиза, фотобиосинтеза, фотоизомеризации, образования биорадикалов и др. В медицинской практике активно используется коротковолновое ультрафиолетовое излучение, так как данный вид лечения весьма прост и относительно безопасен. В настоящее время продолжается поиск новых областей медицины, в которых возможно применение данной методики лечения [7; 8].

С использованием оптической микроскопии было исследовано 93 человеческих зуба, которые были разделены на 3 группы, по 31 образцу в каждой. Все корневые каналы исследуемых зубов обрабатывались согласно основным критериям успешного эндодонтического лечения по методике CrownDown. Медикаментозная обработка системы корневых каналов проведена с применением 17% раствора этилендиаминтетрауксусной кислоты и 3% стабилизированного раствора гипохлорита натрия с последующей активацией ирригирующих растворов ультразвуком, согласно Клиническим рекомендациям (протоколы лечения) при диагнозе болезни периапикальных тканей, утвержденным Постановлением № 15 Совета Ассоциации общественных объединений «Стоматологическая ассоциация России» от 30 сентября 2014 г.

Корневые каналы первой группы зубов обрабатывали вышеописанным способом, второй группы дополнительно обрабатывали диодным лазером с длиной волны 980 нм в течение 20 сек. при мощности 1,5 Вт [9], корневые каналы в третьей группе дополнительно обрабатывали ультрафиолетовым облучением (UVC) с длиной волны 255 ± 5 нм в течение 20 сек. при мощности 8 Вт.

Ультрафиолетовое излучение обладает бактерицидным, микоцидным и противовирусным действием. Наиболее выраженный санирующий эффект оказывает волна длиной 254–265 нм. Данный вид излучения способен поглощаться нуклеотидами, белками, а также ДНК [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Действие коротковолновых ультрафиолетовых лучей в начальном периоде облучения заключается в кратковременном спазме капилляров, после чего наступает более продолжительное расширение субкапиллярных вен, в результате чего через 1–2 часа формируется коротковолновая эритема, исчезающая через 1–2 суток.

Установлен эффект коротковолнового ультрафиолетового излучения на процессы клеточного дыхания форменных элементов крови, увеличивающий ионную проницаемость мембран. Аутотрансфузия крови, которая подверглась ультрафиолетовому облучению, способствует повышению количества оксигемоглобина, а также увеличению кислородной емкости крови. Результатом же активации перекисного окисления липидов мембран лейкоцитов и эритроцитов, а также распада тиоловых соединений и альфа-токоферола является появление в крови реакционно-активных радикалов и гидроперекиси, способных нейтрализовывать продукты распада, обладающие токсическим эффектом [8; 9].

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение вызывает дезорбцию углеводов и белков, расположенных на внешнем примембранном слое клеток крови, в результате чего повышается вероятность межклеточных дистанционных взаимодействий данных элементов и рецепторно-сигнальных белков элементов крови. Указанные процессы составляют основу неспецифических реакций кровеносной системы при её облучении. К таким реакциям можно отнести изменения агрегационных параметров тромбоцитов и эритроцитов, фазовые изменения концентрации иммуноглобулинов A, M, G и лимфоцитов, а также увеличение бактерицидной активности крови. Наряду с этим облучение активирует трофометаболические процессы в тканях, нормализует свертывающую систему крови, а также способствует расширению сосудов микроциркуляторного русла. Кроме того, коротковолновое ультрафиолетовое облучение оказывает метаболический, иммуностимулирующий и коагулокорригирующий эффекты.

Световое излучение активно используется в стоматологической практике. Наиболее актуальными направлениями стоматологии являются эндодонтия, пародонтология, патология слизистой оболочки полости рта. Распространенность этой патологии в России достаточно высока, в связи с этим проблема повышения эффективности лечения заболеваний этих направлений остается актуальной и на сегодняшний день. Основополагающим воздействиями остаются антимикробное (санация системы корневого канала [8; 9], в эндодонтической терапии предпочтение отдается коротковолновому ультрафиолетовому излучению, пародонтальных карманов), обезболивающее (снятие болевого симптома после пломбирования корневых каналов, при лечении абразивных заболеваний пародонта и слизистой оболочки полости рта), кератопластическое (при лечении эрозий, язв слизистой оболочки полости рта).

Сравнительная оценка изменений при применении различных методов обработки корневых каналов зуба (средний балл)

Группа	Модифицированный слой детрита и очаги микробизма	Поверхность дентина	Участки разрыва дентинных канальцев в виде микротрещин	Признаки деструкции	Очаги дистрофического обызвествления
1	2,32 ± 0,42 $p_1 < 0,001$	2,03 ± 0,37 $p_1 < 0,001$	0	0	0,45 ± 0,08 $p_1 < 0,001$
2	0,26 ± 0,05 $p < 0,001$ $p_1 < 0,05$	0,35 ± 0,06 $p < 0,001$ $p_1 < 0,01$	1,45 ± 0,26	0,61 ± 0,11	0,29 ± 0,05 $p_1 < 0,001$
3	0,13 ± 0,02 $p < 0,001$	0,16 ± 0,03 $p < 0,001$	0	0	0,06 ± 0,01 $p < 0,001$

Примечание: p – сравнение со стандартным методом, p_1 – сравнение с UVC.

Анализ различных источников литературы и собственных наблюдений показал высокую эффективность светового воздействия на патологические очаги периодонта, пародонта и слизистой оболочки полости рта, что говорит о необходимости более масштабного внедрения данных методов с целью повышения качества лечебно-профилактических мероприятий.

Таким образом, при использовании стандартного метода в 100 % случаев наблюдались изменения модифицированного слоя детрита и поверхности дентина, причем в 54,84 ± 8,94 % – существенные, но и более выраженные очаги дистрофического обызвествления (38,71 ± 8,75 %), а при лазерной обработке, в отличие от двух других методов, имелись участки разрыва дентинных канальцев (48,39 ± 8,98 %) и признаки деструкции (45,16 ± 8,94 %). Наименее травматичным при данном сравнении оказался метод использования UVC ($p < 0,01$).

Расчет относительных рисков также показал, что при применении стандартного метода обработки высоки риски достоверных существенных изменений модифицированного слоя детрита (ОР = 5,2) и поверхности дентина (ОР = 6,2), а также формирования очагов дистрофического обызвествления (ОР = 2,2), а при применении лазера – деструкции (ОР = 14,0) и разрывов (ОР = 15,0). Метод UVC выраженных рисков не показал ($p < 0,01$).

Сравнительная оценка групп с использованием критерия Краскелла-Уоллиса также показала значимые различия между методами в пользу применения UVC ($p < 0,01$).

Выводы

По результатам исследования, можно сделать вывод, что наименее травматичным и более эффективным методом обработки корневого канала зуба (человеческого) при проведенной работе было признано:

1. Применение UVC 255 ± 5 нм в течение 20 секунд ($p < 0,01$).
2. На второе место можно отнести метод с использованием диодного лазера с длиной волны 970 ± 10 нм в течение 20 секунд.
3. На третьем – стандартный метод.

Список литературы

1. Байбеков И.М., Ибрагимов А.Ф., Байбеков А.И. Влияние лазерного облучения донорской крови на форму эритроцитов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. № 12. С. 703–707.

2. Беляев Ю.М., Гуменюк С.Е. Аппарат «Экосвет1»: Первые результаты и перспективы // Кубанский научный медицинский вестник. 2014. Т. 143. № 1. С. 187–190.

3. Гуреев Д.М. Медико-биологические аспекты лазерного воздействия // Вестник Самарского государственного технического университета. 2013. Т. 32. № 3. С. 119–128.

4. Гуськов А.В., Зиманков Д.А., Мирнигматова Д.Б. Лазеры в терапевтической и ортопедической стоматологии // Символ науки. 2015. № 10. С. 221–223.

5. Дыбов Д.А., Круглов Т.Е. Изучение частоты возникновения рецидивирующего и вторичного кариеса у жителей Амурской области // Стоматология – наука и практика, перспективы развития материалы научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Л.П. Иванова. М., 2017. С. 47–50.

6. Дыбов Д.А., Юркевич А.В., Михальченко А.В., Михальченко Д.В. Применение препаратов селена в лечении воспалительных заболеваний пародонта // Клиническая стоматология. 2017. Т. 84. № 4. С. 26–29.

7. Смагина В.Р. Технологии будущего: использование лазера в стоматологии // Центральный научный вестник. 2017. Т. 26. № 9. С. 41–42.

8. Ларинская А.В., Юркевич А.В., Михальченко В.Ф., Михальченко А.В. Современные аспекты внутриканальной дезинфекции при лечении осложненных форм кариеса // Клиническая стоматология. 2017. Т. 83. № 3. С. 13–16.

9. Феоктистова К.Е. Современные физиотерапевтические методы лечения в стоматологии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8. С. 182–186.

УДК 616-006:576.3

ПОПУЛЯЦИЯ КЛЕТОК МЕНИНГИОМ СО СТВОЛОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

Никитин П.В., Зубова И.В., Шугай С.В., Галстян С.А., Хохлова Е.А.
ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко», Москва, e-mail: redseadog@gmail.com

Менингиомы встречаются чаще других опухолей центральной нервной системы, представляя собой самую распространенную нозологию среди новообразований данной локализации. Применяемые диагностические подходы недостаточны для надежной дифференциации менингиом разной степени злокачественности. Кроме того, дальнейшего рассмотрения требуют вопросы свойств внутриопухолевой гетерогенности менингиом с выделением различных клеточных популяций, в том числе со стволовыми свойствами. Для решения данной задачи было проведено исследование экспрессии стволового маркера CD 133 с помощью иммуногистохимического метода в менингиомах различной степени злокачественности. В результате было показано, что в менингиомах Grade I (GI) активность экспрессии CD 133 и содержание клеток со стволовыми свойствами самые низкие, при этом в менингиомах Grade II (GII) данные параметры значимо выше, самых высоких значений они достигают в менингиомах Grade III (GIII). Таким образом, активность экспрессии CD 133 возрастает с повышением степени злокачественности менингиомы. Полученные результаты свидетельствуют о потенциально высокой значимости клеток со стволовыми свойствами для прогрессирования и повышения злокачественного потенциала менингиом и могут лечь в основу создания принципиально новых диагностических и лечебных подходов.

Ключевые слова: менингиомы, стволовые клетки, патология, нейроонкология, иммуногистохимия

MENINGIOMA CELLS POPULATION WITH STEM PROPERTIES

Nikitin P.V., Zubova I.V., Shugay S.V., Galstyan S.A., Khokhlova E.A.
Burdenko Neurosurgical Institute, Moscow, e-mail: redseadog@gmail.com

Meningiomas are more common than other tumors of the central nervous system, representing the most common nosology among neoplasms of this localization. The applied diagnostic approaches are not sufficient for reliable differentiation of meningiomas grades. In addition, further consideration is needed about the properties of meningiomas intratumoral heterogeneity with the isolation of various cell populations, including those with stem properties. To solve this problem, we studied the expression of the stem marker CD 133 using the immunohistochemical method in meningiomas of different grades. As a result, it was shown that in meningiomas Grade I (GI), CD 133 expression activity and stem cell content are the lowest, while in meningiomas Grade II (GII) these parameters are significantly higher, it reaches the highest values in meningiomas Grade III (GIII). Thus, the activity of CD 133 expression increases with an increase of grade of meningioma malignancy. The results indicate a potentially high importance of cells with stem properties for the progression and increase of the malignant potential of meningiomas and can underlie the creation of fundamentally new diagnostic and therapeutic approaches.

Keywords: meningioma, stem cells, pathology, neurooncology, immunohistochemistry

Менингиомы – самые часто встречающиеся опухоли центральной нервной системы (ЦНС) [1]. В классификации ВОЗ 2016 г. менингиомы могут соответствовать трем степеням злокачественности, наиболее часто выявляются менингиомы Grade I, обладающие в целом доброкачественным течением и включающие в себя три наиболее частых гистологических подтипа – менинготелиоматозные, фибробластические и смешанные [2]. Менингиомы Grade II преимущественно относятся к атипическим менингиомам, прогноз их, как правило, менее благоприятный – они чаще рецидивируют даже при радикальном хирургическом вмешательстве [2]. Менингиомы Grade III, большая часть которых принадлежит к классу анапластических менингиом, отличаются относительно неблагоприятным прогнозом [2].

Радикальное хирургическое вмешательство позволяет успешно справиться с большинством менингиом Grade I, тем не менее существуют и исключения. Даже при радикальном хирургическом удалении опухоли 20–25 % менингиом Grade I рецидивируют. Кроме того, часть менингиом может в дальнейшем подвергаться малигнизации с существенным ухудшением прогноза пациентов [3].

На сегодняшний день применяемые диагностические подходы, позволяющие провести надежную оценку свойств опухоли, в случае с менингиомами опираются почти исключительно на гистологические критерии [4]. При этом большая часть данных критериев плохо воспроизводима и дает лишь приблизительное представление о внутренних свойствах опухоли [5]. Вполне возможно, именно поэтому и средств таргетной терапии менингиом на сегодняшний день не существует.

В то же время одним из важнейших аспектов современных исследований опухо-

лей является изучение свойств внутриопухолевой гетерогенности с выделением разнородных популяций клеток с различными молекулярными и функциональными свойствами. Важнейшей подобной популяцией, выделяемой во многих опухолях, являются опухолевые стволовые клетки (ОСК). Наличие камбиальных прогениторных клеток в составе ткани новообразования характерно для карциномы молочной железы [6], карциномы легкого [7], глиобластомы [8]. Более того, показано, что значимость данного вида клеток для злокачественного потенциала опухоли, а также их вклад в прогрессирование новообразования крайне велики. В частности, было выявлено, что ОСК могут не только играть ключевую роль в росте и распространении опухоли, но и обусловливать устойчивость опухоли к применяемым методам химиотерапии и лучевой терапии [9].

Тем не менее вопрос распространенности и роли клеток со стволовыми свойствами в развитии менингиом различной степени злокачественности остается практически неисследованным. В то же время данная проблема крайне важна, так как может помочь лучше понять внутреннюю клеточную иерархию менингиом и получить новые мощные диагностические и лечебные подходы. В рамках данной работы мы решили изучить экспрессию ключевого маркера стволовых свойств клеток CD 133 в менингиомах различной степени злокачественности.

Целью данного исследования явился сравнительный анализ экспрессии маркера ОСК CD 133 в менингиомах Grade I, Grade II и Grade III по классификации ВОЗ с применением иммуногистохимического метода для выявления данного маркера.

Материалы и методы исследования

Общая характеристика исследования

В данное ретроспективное исследование были включены по 30 пациентов с менингиомами Grade I (GI), менингиомами Grade II (GII) и менингиомами Grade III (GIII), прошедшие хирургическое лечение в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» в 2012–2015 гг. Гистопатологический диагноз был подтвержден тремя опытными патологами. При этом средний возраст составлял 62,29 ± 3,31 года, соотношение мужчин и женщин 42,22 %:57,78 %.

Иммуногистохимическое исследование

Проводилось приготовление срезов толщиной 3 мкм из парафиновых блоков с фиксированными в них образцами опухоли. Далее полученные срезы были депарафинированы ксилолом и повторно гидратированы с помощью различных концентраций этанола, после чего срезы высушивались при 45 °C. Далее проводилась последовательная инкубация срезов с кроличьими моноклональными антителами против человеческого антигена CD 133 (ZRB1013, Sigma-Aldrich, США).

Первичный анализ изображений

Затем все препараты были оцифрованы с использованием сканера Aperio 3T (Leica Biosystems, GmbH). Полученные сканированные изображения были проанализированы с помощью программного обеспечения Aperio ImageScope (Leica Biosystems, GmbH), ImageJ (Национальный институт здравоохранения, США) и QuPath (Университет Эдинбурга, Великобритания). Для оценки активности экспрессии CD 133 применялись два подхода. Первый подход включал в себя оценку количественного содержания клеток с позитивной экспрессией CD 133 в процентном отношении к общему количеству клеток в препарате (ПК CD 133). Кроме того, применялся подход с полуколичественной оценкой активности экспрессии CD 133 по типу методики histoscore (histoscore CD 133), для чего процент клеток со слабо положительным окрашиванием (низкая интенсивность экспрессии) умножался на единицу, процент клеток с умеренно положительным окрашиванием (средняя интенсивность экспрессии) умножался на два и, наконец, процент клеток с выраженно положительным окрашиванием (высокая интенсивность экспрессии) умножался на три, после чего результаты суммировались. Цветность меток характеризовалась с применением ранее предложенной нами методики [10].

Статистический анализ

Для проведения статистического анализа применялось программное обеспечение Matlab (The MathWorks, США). Для сравнения средних значений в группах менингиом использовался U-тест Манна–Уитни. Различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Количественное содержание клеток со стволовыми свойствами в менингиомах

При проведении количественной оценки содержания клеток со стволовыми свойствами в менингиомах различной степени злокачественности было выявлено, что в менингиомах GI среднее значение ПК

CD 133 составило 14,26 ± 2,44 %, в менингиомах GII данный показатель составил 28,42 ± 2,34 %, в менингиомах GIII ПК CD 133 равнялся 46,48 ± 4,32 % (рис. 1). Также было выявлено, что средние значения ПК CD 133 в менингиомах GI статистически значимо различались как с аналогичным показателем в менингиомах GII ($p = 0,001$; $Z = 5,14$), так и в менингиомах GIII ($p<0,001$; $Z = 5,38$). Кроме того, было показано, что менингиомы GII также значимо отличаются от менингиом GIII ($p = 0,004$; $Z = 5,12$).

Таким образом, наименее выражена количественная составляющая активности экспрессии CD 133 в менингиомах GI, в то время как в менингиомах GII активность экспрессии значимо повышается и достигает максимальных показателей в менингиомах GIII.

Выявление полуколичественным методом активности экспрессии CD 133

При проведении оценки активности экспрессии CD 133 в менингиомах различной степени злокачественности было выявлено, что histoscore CD 133 в менингиомах GI составил в среднем 28,62 ± 2,44 %, в менингиомах GII данный параметр составил 48,46 ± 2,30 %, в менингиомах GIII он равнялся 68,58 ± 4,82 % (рис. 2). В то же время различия средних значений histoscore CD 133 в менингиомах GI в сравнении с менингиомами GII были значимыми ($p = 0,014$; $Z = 4,84$), также менингиомы GI значимо отличались по данному параметру от менингиом GIII ($p < 0,001$; $Z = 5,18$). Наблюдались значимые различия в данном показателе и между менингиомами GII и менингиомами GIII ($p = 0,004$; $Z = 4,88$).

В целом полуколичественный подсчет активности экспрессии CD 133 показал, что наименьшая активность экспрессии данного маркера выявляется в менингиомах GI, при этом она значимо выше в менингиомах GII, самое высокое значение выявляется в менингиомах GIII.

Полученные результаты четко формируют тенденцию в количественном содержании клеток со стволовыми свойствами в менингиомах. В целом наблюдается нарастание количества ОСК при увеличении степени злокачественности опухоли, что подтверждается с помощью двух разных методов оценки активности экспрессии стволового маркера CD 133 в иммуногистохимических препаратах менингиом. Данная закономерность крайне любопытна и хорошо согласуется с общими представлениями о молекулярных функциональных свойствах ОСК. Данный вид клеток вносит значительный вклад в процесс прогрессирования новообразований. Количественное содержание ОСК напрямую взаимосвязано не только со злокачественным потенциалом опухоли в целом, но также, в частности, с резистентностью клеток опухоли к химиотерапии и лучевой терапии.

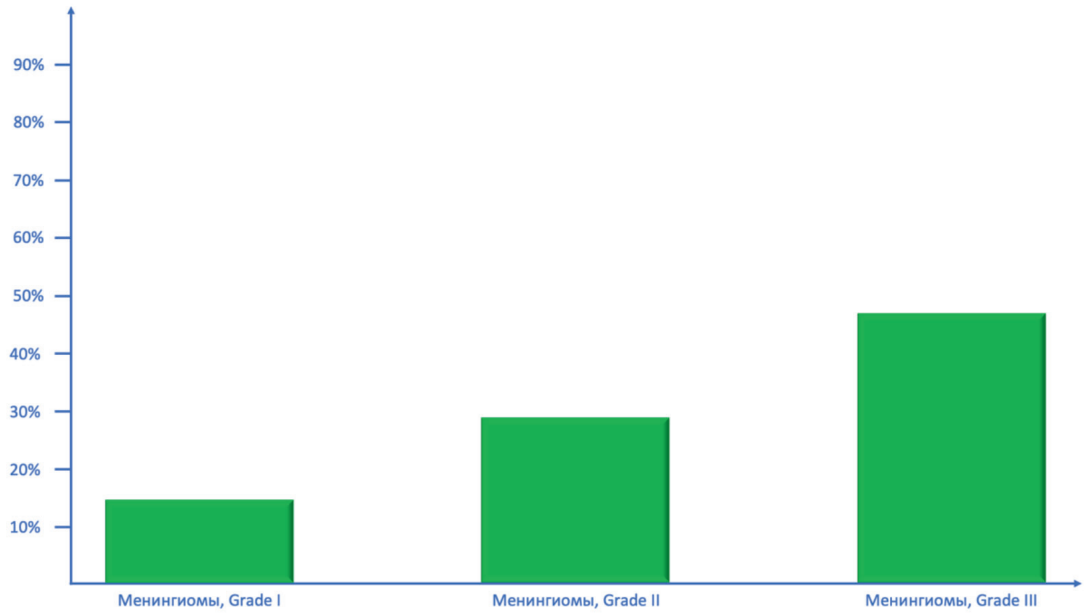


Рис. 1. Выявление активности экспрессии CD 133 в менингиомах различной степени злокачественности, подсчитанной количественным методом

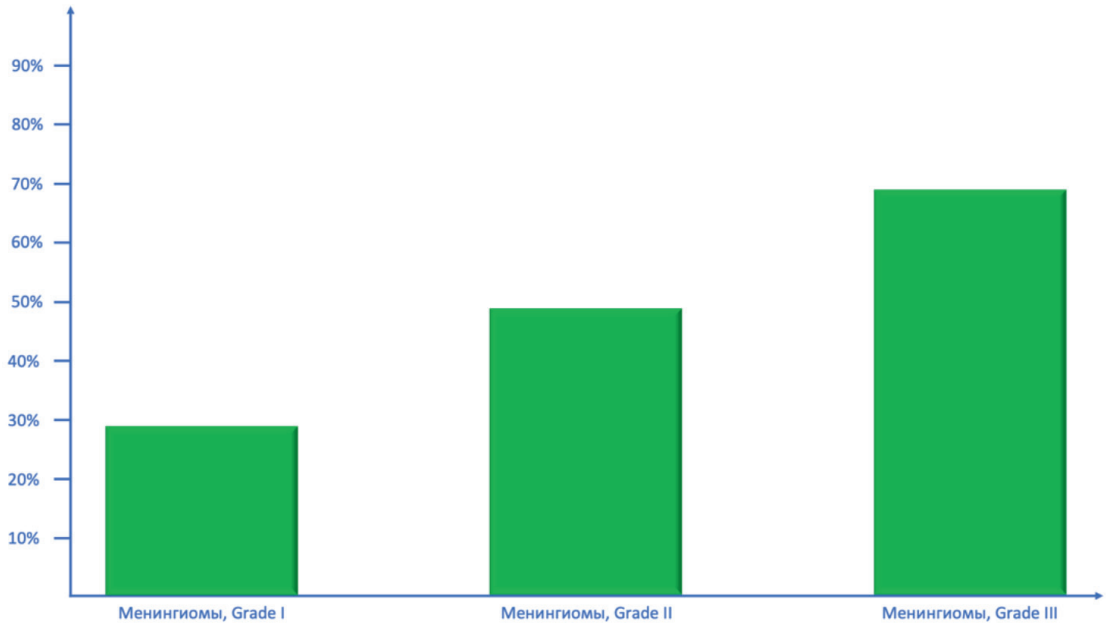


Рис. 2. Выявление активности экспрессии CD 133 в менингиомах различной степени злокачественности, подсчитанной полуколичественным методом

По-видимому, в данном случае более высокое содержание ОСК в атипических и тем более в анапластических менингиомах по крайней мере отчасти может обусловливать их более высокий потенциал прогрессирования и рецидивирования. Однако механизмы такого влияния могут быть разнообразными, поскольку для их аналогов при других опухолевых заболеваниях показано, что ОСК могут не только быть регенераторным пулом для различных клеточных популяций в опухоли, но также отличаются существенно более высокой клеточной пластичностью, что способствует появлению в них повышающих приспособительные возможности свойств. В частности, данная характеристика позволяет ОСК принимать самое активное участие как в формировании лечебной резистентности, так и в обеспечении кровоснабжения опухоли и повышении ее инвазивных свойств.

Поэтому полученные результаты крайне важны и открывают большие перспективы для дальнейших исследований. Для создания современных концепций патогенеза опухолей на фундаментальном уровне необходим дифференцированный подход с характеристикой свойств различных клеточных популяций. В то же время в клинической плоскости такой подход позволит создать принципиально новые средства прецизионной персонализированной диагностики и таргетного лечения пациентов с онкологическими заболеваниями с учетом всей полноты свойств внутриопухолевой гетерогенности.

Заключение

Таким образом, в представленной работе впервые было показано наличие в менингиомах экспрессии стволового маркера CD 133, причем количественное содержание клеток с наличием данного маркера значимо возрастает с повышением степени злокачественности опухоли. В целом наши данные позволяют заключить, что по своим молекулярным свойствам клетки менингиомы неоднородны и имеют различные молекулярные и функциональные свойства, при этом одной из важных клеточных популяций выступают клетки со стволовыми свойствами. Повышение количественного содержания данных клеток приводит к росту злокачественного потенциала менингиомы. Дальнейшие работы в данном направлении позволят значительно расширить диагностические и терапевтические возможности для данного вида опухолей в рамках концепции персонализированной медицины.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-01214 мк.

Список литературы

1. Ostrom Q.T., Gittleman H., Fulop J., Liu M., Blanda R., Kromer C., Wolinsky Y., Kruchko C., Barnholtz-Sloan J.S. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2008-2012. Neuro Oncol. 2015. vol. 17. P. 1–62.

2. Louis D.N., Perry A., Reifenberger G., von Deimling A., Figarella-Branger D., Cavenee W.K., Ohgaki H., Wiestler O.D., Kleihues P., Ellison D.W. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. Acta Neuropathol. 2016. vol. 131 no. 6. P. 803–820.

3. Fountain D.M., Soon W.C., Matys T., Guilfoyle M.R., Kirollos R., Santarius T. Volumetric growth rates of meningioma and its correlation with histological diagnosis and clinical outcome: a systematic review. Acta Neurochir (Wien). 2017. vol. 159. no. 3. P. 435–445.

4. Chohan M.O., Ryan C.T., Singh R., Lanning R.M., Reiner A.S., Rosenblum M.K., Tabar V., Gutin P.H. Predictors of Treatment Response and Survival Outcomes in Meningioma Recurrence with Atypical or Anaplastic Histology. Neurosurgery. 2018. vol. 82. no. 6. P. 824–832.

5. Perry A., Stafford S.L., Scheithauer B.W., Suman V.J., Lohse C.M. Meningioma grading: an analysis of histologic parameters. Am. J. Surg. Pathol. 1997. vol. 21. no. 12. P. 1455–65.

6. Dittmer J. Breast cancer stem cells: Features, key drivers and treatment options. Semin Cancer Biol. 2018. vol. 53. P. 59–74.

7. Maiuthed A., Chantarawong W., Chanvorachote P. Lung Cancer Stem Cells and Cancer Stem Cell-targeting Natural Compounds. Anticancer Res. 2018. vol. 38. no. 7. P. 3797–3809. DOI: 10.21873/anticanres.12663.

8. Xu H.S., Qin X.L., Zong H.L., He X.G., Cao L. Cancer stem cell markers in glioblastoma – an update. Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci. 2017. vol. 21. no. 14. P. 3207–3211.

9. Zhou P., Li B., Liu F., Zhang M., Wang Q., Liu Y., Yao Y., Li D. The epithelial to mesenchymal transition (EMT) and cancer stem cells: implication for treatment resistance in pancreatic cancer. Mol. Cancer. 2017. vol. 16. no. 1. P. 52.

10. Nikitin P.V., Ryzhova M.V., Shishkina L.V., Shugay S.V., Zubova I.V. Study of Simple Immunohistochemical Cytocolorimetric Assay Application for More Accurate Assessment of Prognosis in Patients with Pituitary Adenomas. World Neurosurg. 2019. vol. 122. P. e1047–e1051.

УДК 616.155.294-053.2

ЭТИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ТРОМБОЦИТОПАТИИ У ДЕТЕЙ

Тракс О.В.

Медицинский университет Караганды, Караганда, e-mail: tra189218@gmail.com

Носовые кровотечения бывают единственной жалобой у детей, которая иногда приводит к длительному поиску диагноза. В статье исследовались клинические проявления расстройств гемостаза у 115 детей в возрасте от 2 до 17 лет. В половине случаев тромбоцитопатии диагностировались в школьном возрасте, тогда как первые проявления заболевания были в дошкольном возрасте. Статья посвящена анализу клинических характеристик приобретенных форм нарушения функции тромбоцитов, сравнивается влияние этиологических факторов как причина обострения или манифестации расстройств гемостаза в виде нарушения свертываемой системы крови. Основными симптомами у детей были носовые кровотечения у 90 (78,26%), кровотечения из десен у 45 (39,1%), изменения в общем анализе крови (тромбоцитопения) у 45 (39,1%), обильные месячные у девочек-подростков – у 5 из 15 девушек, имеющих mensis (33,3%). В половине случаев в обеих группах пусковым фактором была перенесенная накануне острая респираторная инфекция. Наиболее часто у пациентов с патологией тромбоцитов из группы нестероидных противовоспалительных средств использовался парацетамол, при этом у пациентов с тромбоцитопенией отмечался частый прием ибупрофена и аспирина.

Ключевые слова: тромбоцитопатия, тромбоцитопения, гемостаз, дети, носовые кровотечения

ETHIOLOGICAL FACTORS AND CLINICAL MANIFESTATIONS OF THROMBOCYTOPATHY IN CHILDREN

Traks O.V.

Medical University of Karaganda, Karaganda, e-mail: tra189218@gmail.com

Epistaxis is the only complaint in children, which sometimes leads to a long search for a diagnosis. The article examined the clinical manifestations of hemostatic disorders in 115 children aged 2 to 17 years. In half the cases of thrombocytopathy were diagnosed at school age, while the first manifestations of the disease were at preschool age. The article is devoted to the analysis of the clinical characteristics of acquired forms of platelet dysfunction, the effect of etiological factors is compared, as the cause of exacerbation or manifestation of hemostasis disorders in the form of a violation of the coagulated blood system. The main symptoms in children were nosebleeds in 90 (78.26%), bleeding from the gums in 45 (39.1%), changes in the general analysis of blood (thrombocytopenia) in 45 (39.1%), heavy periods in girls – adolescents – in 5 out of 15 girls with mensis (33.3%). In half of the cases in both groups, the trigger factor was transferred on the eve of acute respiratory infection. Most often, patients with platelet pathology from the group of non-steroidal anti-inflammatory drugs used paracetamol, while patients with thrombocytopenia experienced frequent use of ibuprofen and aspirin.

Keywords: thrombocytopathy, thrombocytopenia, hemostasis, children, nosebleeds

Тромбоцитопатии – распространенная группа геморрагических заболеваний, характеризующаяся качественной неполноценностью и нарушением функции тромбоцитов при их нормальном, несколько сниженном (>70 000/мкл) или повышенном количестве [1].

В основе наследственных тромбоцитопатий обычно лежат нарушения адгезии, агрегации тромбоцитов или нарушение реакции высвобождения. Причинами приобретенных тромбоцитопатий могут быть инфекции, уремия, онкологические заболевания, медикаментозная терапия [2, 3].

Тромбоцитопения определяется как количество тромбоцитов ниже 2,5 перцентиля нормального распределения количества тромбоцитов или ниже $150x10^9$/л. Однако количество тромбоцитов от $100x10^9$/л до $150x10^9$/л не обязательно указывает на болезнь, если показатели были стабильны более 6 месяцев. Кроме того, во многих западных странах нижний порог нормального количества тромбоцитов составляет $150x10^9$/л. У детей данное состояние чаще является приобретенными. Многие тромбоцитопении ассоциированы с нарушением функций тромбоцитов [4–6].

По частоте тромбоцитопатии преобладают над тромбоцитопеническими состояниями. Популяционная частота заболевания составляет 5–10% населения, чаще встречается легкая степень [7].

В детском возрасте преобладают наследственные тромбоцитопатии, которые нередко протекают субклинически, и единственным симптомом заболевания бывают носовые кровотечения, в связи с чем дети долгое время наблюдаются у отоларингологов. Причинами манифестации чаще всего служат инфекции. Чаще первые симптомы проявляются в раннем или дошкольном воз-

расте. С возрастом интенсивность кровотечений может уменьшиться. Мальчики и девочки болеют одинаково часто [7–9].

В отличие от наследственных нарушений тромбоцитов, приобретенные дефекты функции тромбоцитов гораздо чаще встречаются в клинической практике и поэтому заслуживают особого внимания. Их патогенез широко распространен и неоднороден с различными, иногда пересекающимися аномалиями в одной и той же клинической обстановке [10]. Нередко вторичные тромбоцитопатии осложняют течение различных заболеваний, таких как заболевания печени, заболевания щитовидной железы, системные заболевания, гемобластозы, или возникают в результате токсического воздействия внешних средовых факторов, приема ряда лекарственных препаратов [3, 11].

Кроме того, приобретенная дисфункция тромбоцитов может возникнуть в любом возрасте, и дефекты тромбоцитов могут варьироваться по степени тяжести от легких до угрожающих жизни кровоизлияний. Диагностика нарушений тромбоцитов требует тщательной оценки анамнеза болезни, особенно приема любых препаратов, влияющих на функцию тромбоцитов, тщательного клинического обследования и результатов лабораторных исследований для оценки основного дефекта(ов) тромбоцитов [2, 10]. Интерпретация лабораторных результатов иногда может быть затруднена, так как сниженная чувствительность тромбоцитов, полученная в условиях in vitro, может быть результатом «истощенных» тромбоцитов из-за повышенной активации in vivo. Для выявления гиперактивных тромбоцитов ex vivo требуются дорогостоящие исследования с использованием проточной цитометрии в сочетании со специфическими моноклональными антителами. В настоящее время этот подход может быть рекомендован только для исследовательских целей. Дисфункция тромбоцитов, иногда в сочетании с количественными отклонениями, присутствует при уремии, заболеваниях печени, гемобластозах, заболеваниях клапанов сердца и в экстракорпоральных условиях. Из-за их неоднородности приобретенные нарушения функции тромбоцитов необходимо обсуждать с основным заболеванием [4, 12].

Цель исследования: исследовать клинические проявления, особенности причин манифестации тромбоцитопатий.

Материалы и методы исследования

Под наблюдением находились 115 детей в возрасте от 2 до 17 лет (медиана 6 лет), поступивших на лечение в отделение гематологии Областной детской клинической больницы города Караганды в 2018–2019 гг. с клиническими проявлениями нарушения свертывания крови. Критерий исключения: наличие наследственной этиологии тромбоцитопатии.

Несмотря на то что нет половой предрасположенности к данному заболеванию, из 115 больных мальчиков было значительно больше – 75 (65,2%), девочек – 40 (34,8%) ($p \leq 0,05$). По возрасту дети распределились следующим образом: до 3 лет – 15 человек (13%), до 7 лет – 60 человек (52,1%), от 7 до 10 – 5 человек (4,3%), от 11 до 14 – 30 человек (26%), от 15 до 18 лет – 20 человек (17,4%).

Больные были разделены на 2 группы. В первую группу определены пациенты с наличием клинических проявлений тромбоцитопении в анализах крови (количество тромбоцитов ниже 150 000/мкл) – 55 детей. Во вторую группу вошли 60 пациентов, которые поступили с клиническими проявлениями тромбоцитопатии, но с нормальными показателями количества тромбоцитов.

Результаты исследования и их обсуждение

У детей в первой группе соотношение мальчиков и девочек составило 1,75:1, медиана возраста на момент обращения – 4 года. У детей из второй группы соотношение мальчиков и девочек составило 2:1, а медиана возраста на момент обращения – 10 лет. Тромбоцитопатии в детском возрасте регистрируются примерно с одинаковой частотой у мальчиков и девочек, но в данном случае патология у мальчиков встречалась чаще, что отмечали и другие российские авторы [8].

От первой беременности родились 39,1% (45 из 115) детей с тромбоцитопатией, причем в первой группе – 40% (20 из 55) детей, во второй – 38,46% (25 из 60) детей, остальные – в результате повторных беременностей. Во второй группе настоящая беременность имела осложненное течение у 20 (33,3%) матерей, реже в первой группе – у 5 (18,2%) женщин ($p \leq 0,05$). При сравнении пациентов в первой и второй группах масса тела при рождении у детей была практически равной ($3392 \pm 125,5$ г и $3320 \pm 144,8$ г соответственно), так же как и рост при рождении ($52,64 \pm 0,81$ и $50,58 \pm 0,68$ см соответственно), ($p \leq 0,05$).

Наиболее часто к гематологу обращаются школьники – $52,1 \pm 1,08$% детей, несмотря на то, что первые симптомы повышенной кровоточивости появлялись в дошкольном периоде. В первой группе $63,6 \pm 2,23$% слу-

чаев с момента манифестации геморрагических проявлений у детей и до обращения к врачу-гематологу проходило в течение первого года, во второй группе 63,6 % случаев больше 1,5 лет, в 41,6 % случаев больше 2 лет. Основными жалобами при обращении к врачу-гематологу являлись: рецидивирующие носовые кровотечения у 90 (78,26 %), кровотечения из десен у 45 (39,1 %), изменения в общем анализе крови (тромбоцитопения) у 45 (39,1 %) больных, обильные месячные у 5 из 15 девушек, имеющих mensis (33,3 %), значительно реже – повышенная «синячковость» у 30 (26 %) и петехиальные высыпания у 30 (26 %) (рис. 1). 13 % детей наблюдались или состоят на учете у отоларинголога, что связано с тем, что заболевание протекает с единственным симптомом – носовым кровотечением.

Сравнивались клинические проявления между группами больных, при анкетировании во второй группе у 8,3 % детей были указаны десневые кровотечения при экстракции зуба, в первой группе данного симптома не наблюдалось. Кровотечения из десен при чистке зубов в первой группе имело место у 36,36 ± 0,15 % пациентов, во второй группе – у 41,6 ± 0,14 %. Наличие носовых кровотечений как постоянно рецидивирующего симптома во второй группе составляло 100 %, тогда как в первой группе – 45,5 ± 0,1 %. Стоит отметить, что во второй группе преобладали жалобы на носовые кровотечения, тогда как в первой группе в 81 % случаев госпитализация была связана с выявлением изменений показателей общего анализа крови; жалобы на носовые кровотечения и петехиальные высыпания были отмечены в равной степени – в 45,5 % случаев ($p \leq 0,05$).

Несмотря на то что патология имела приобретенный характер, в 21,7 % случаев у родственников первой линии были в подростковом и детском возрасте носовые кровотечения, из них в первой группе в 18,2 % случаев, в 25 % случаев – во второй группе. У 17,4 % человек у матерей в подростковом возрасте были обильные менструации, из них в первой группе у 18,2 %, во второй группе у 16,6 %.

В половине случаев в обеих группах заболевание возникало на фоне ОРВИ (55 случаев – 47,8 %), ветряной оспы (5 – 4,3 %), ангины (5 – 4,3 %), реже – после приема нестероидных противовоспалительных средств (30 – 26,1 %), после проведения антибактериальной терапии (20 – 17,4 %) (рис. 2).

На функциональную способность тромбоцитов влияют различные лекарства. Выраженность влияния не всегда одинакова; так, ацетилсалициловая кислота снижает агрегационную способность тромбоцитов на 7–10 дней. Остальные нестероидные противовоспалительные средства (НПВС) менее активны (минимальный эффект вызывает парацетамол) [10, 11]. В качестве НПВС принимали парацетамол 82,6 % пациентов: 40 детей (44,4 %) в первой группе и 55 детей (61,1 %) – во второй. Аспирин давали в 21,7 % случаев, в первой группе аспирин принимали 20 детей (36,4 %), из которых 14,2 % детей были младше 3 лет, остальные – старше 10 лет, во второй груп-

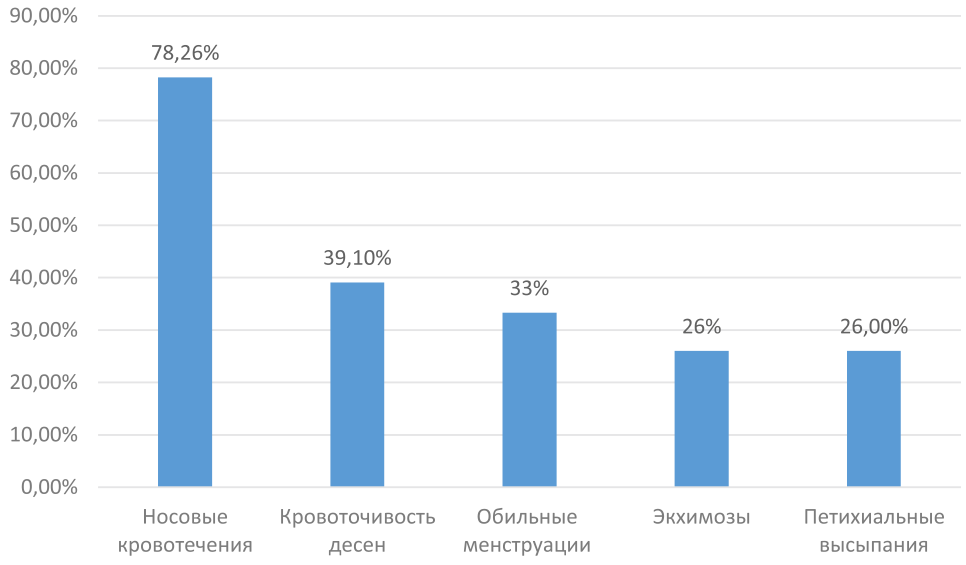


Рис. 1. Основные симптомы

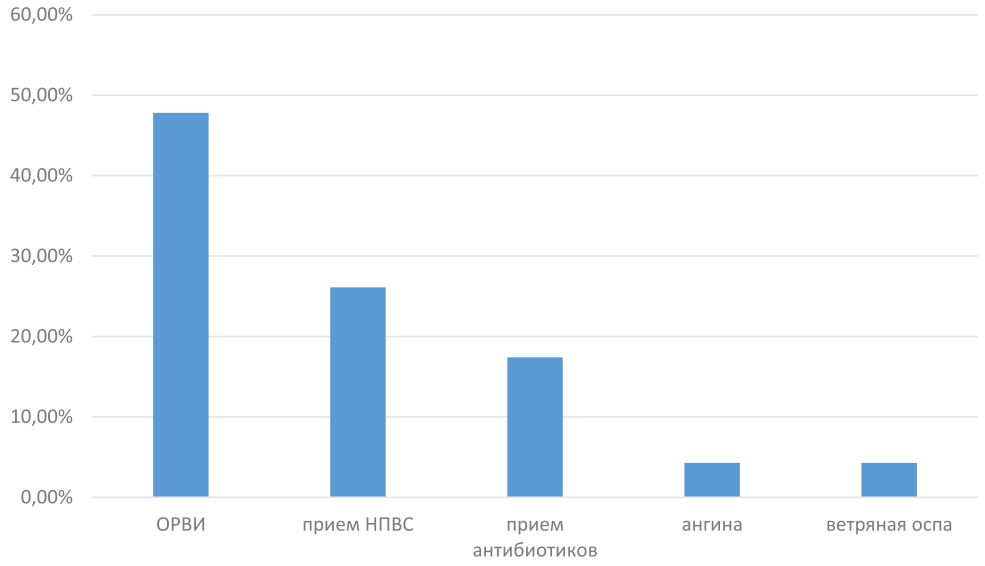


Рис. 2. Распределение пусковых факторов тромбоцитопатии

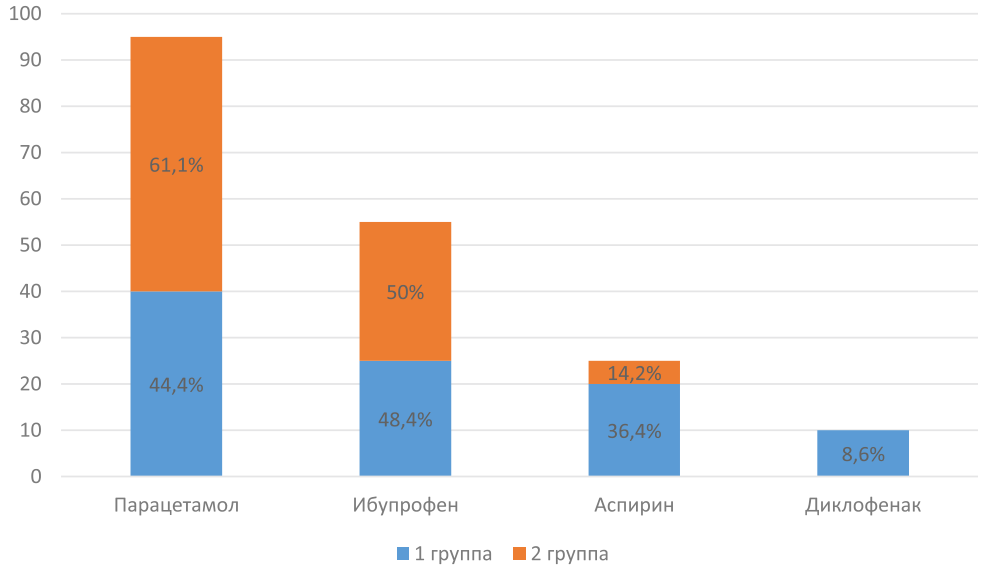


Рис. 3. Распределение употребления НПВС среди детей

пе – 5 детей в возрасте старше 15 лет (8,3 %). Диклофенак получали 10 детей (8,6 %), находящихся в первой группе. Во второй группе случаев использования данного препарата не было. Ибупрофен принимали 47,8 % пациентов, в первой группе 25 детей (48,4 %), из них 8,6 % в раннем детстве отмечают частый прием, во второй – 30 пациентов (50 %) (рис. 3).

Поскольку антибиотики тоже могут влиять на функцию тромбоцитов, в большей степени вызывая тромбоцитопению, мы выяснили анамнез приема антибактериальных препаратов [4]. В первой группе в последние полгода антибиотики принимали 63,63 % детей, из них 28,57 % антибактериальную терапию получали непосредственно перед возникновением геморрагических проявлений. Во второй группе 50 % детей получали антибиотики, из них 33,3 % детей – в течение последнего месяца. Основную группу представляли антибиотики пенициллинового ряда, цефалоспорины были назначены в 28,6 % случаев в первой группе и в 16,7 % – во второй.

В первой группе у 18,2 % детей выявлены заболевания печени (гепатиты В, С, врожденные пороки развития желчных путей), что может свидетельствовать о причине тромбоцитопении. У 25 % человек

во второй группе были выявлены гельминты, из них 8,3% получали антигельминтную терапию перед поступлением в стационар, в первой группе случаев гельминтоза не выявлено.

У 13% детей были заболевания щитовидной железы (гипотиреоз), из них в коагулограмме у 8,7% пациентов АЧТВ было на уровне верхней границы, и 4,3% принимали аспирин при повышении температуры, еще у 8,7% была отягощенная наследственность (гипотиреоз, диффузный токсический зоб у родственников по первой линии). По данным исследований, в случае гипотиреоза содержание тромбоцитов находится обычно в пределах нормы, но некоторые пациенты могут жаловаться на появление «синячковости», увеличение времени кровотечения после стоматологических процедур, обильные менструации. Основной механизм не выявлен, предполагается, что данные проявления связаны с дефицитом гормонов. В коагулограмме у пациентов с гипотиреозом определяют увеличение частичного тромбопластинового времени. Некоторые заболевшие более чувствительны к действию аспирина, поэтому имели более длительное время кровотечения после приема аспирина [13].

Заключение

В половине случаев расстройства гемостаза диагностировались в школьном возрасте, тогда как первые проявления заболевания отмечались в дошкольном возрасте. Остается актуальной ранняя диагностика тромбоцитопатий, так как в 40% (в трети) случаев верификация диагноза была спустя 2 года после манифестации заболевания. Основными симптомами были носовые кровотечения у 90 (78,26%), кровотечения из десен у 45 (39,1%), изменения в общем анализе крови (тромбоцитопения) у 45 (39,1%) детей, обильные месячные – у 5 из 15 девушек, имеющих mensis (33,3%). В половине случаев в обеих группах заболевание возникало на фоне ОРВИ (55 случаев – 47,8%), реже – после приема нестероидных противовоспалительных средств (30 – 26,1%), после проведения антибактериальной терапии (20 – 17,4%). Наиболее часто у пациентов с патологией тромбоцитов из группы НПВС использовался парацетамол, при этом у пациентов с тромбоцитопенией отмечался частый прием ибупрофена и аспирина. 13% детей наблюдались или состоят на учете у отоларинголога, что говорит об актуальности отработки единого алгоритма диагностики тромбоцитопатий.

Список литературы

1. Халецкая О.В., Туш Е.В., Яцышина Е.Е. Шамардина А.В. Гематология детского возраста: учебное пособие / Под ред. Халецкой О.В. Нижний Новгород: Издательство Нижегородской государственной медицинской академии, 2013. 188 с.

2. Israels Sara J., Kahr Walter H.A., Blanchette Victor S., Luban Naomi L.C., Rivard Georges E., Rand Margaret L. Platelet Disorders in Children: A Diagnostic Approach. Pediatr. Blood Cancer. 2011. vol. 56 P. 975–983. DOI: 10.1002/pbc.22988.

3. Дёмина И.А., Кумскова М.А., Пантелеев М.А. Тромбоцитопатии // Российский журнал детской онкологии и гематологии. 2015. № 1. С. 54–60.

4. Румянцев А.Г. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению тромбоцитопатий у детей и подростков. М., 2015. С. 31.

5. Warkentin Theodore E., Warkentin Andrew E. Acquired Thrombocytopenia. Concise Guide to Hematology. 2012. P. 154–173.

6. Stasi Roberto. How to approach thrombocytopenia // Hematology. 2012. vol. 7. P. 191–197.

7. Ожегов А.М. Тромбоцитопатии у детей // Практическая медицина. 2007. № 24. С. 18–20.

8. Отто Н.Ю., Сагитова Г.Р., Ледяев М.Я., Нураденов Х.П., Отто А.И., Фараджова Д.М. Симптом кровоточивости у детей: структура, генез // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2018. № 2 (66). С. 81–85.

9. Салаева З.Ш. Клинические особенности приобретенной дизагрегационной тромбоцитопатии у детей // Proceedings of the 11th European Conference on Biology and Medical Sciences (September 5, 2016). «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, 2016. С. 37–41.

10. Antonio Del Vecchio. Coagulation Disorders: Clinical Aspects of Platelet. Disorders In: Buonocore G., Bracci R., Weindling M. (eds) Neonatology. Springer, Cham. 2018. P. 1471–1487. DOI: 10.1007/978-3-319-29489-6_240.

11. Ходулева С.А., Зайцева Л.П., Ромашевская И.П. Некоторые аспекты диагностики тромбоцитопатий у детей // Проблемы здоровья и экологии. 2007. № 4. С. 34–38.

12. Scharf Rüdiger E. Acquired Disorders of Platelet Function. Platelets in Thrombotic and Non-Thrombotic Disorders: Pathophysiology, Pharmacology and Therapeutics: an Update. 2017. P. 951–973.

13. Петунина Н.А., Мартиросян Н.С., Трухина Л.В. Дисфункция щитовидной железы и система кроветворения // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2011. Т. 7. № 4. С. 27–31.

УДК 612.825.24

СВЯЗАННЫЕ С ДВИЖЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЫ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА КАК ЭЛЕКТРОГРАФИЧЕСКИЙ КОРРЕЛЯТ ПОДГОТОВКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЬНОГО АКТА

[1]Трошина Е.М., [1]Сазонова О.Б., [1]Кроткова О.А., [2]Шарова Е.В., [1]Каверина М.Ю., [2]Болдырева Г.Н., [2]Жаворонкова Л.А.

[1]ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Москва, e-mail: emt@inbox.ru;
[2]ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии» РАН, Москва

Произвольные движения человека реализуются благодаря взаимодействию различных структур мозга, которые вносят свой специфический вклад в построение движения. Поражение любой из этих структур, объединенных в сложную функциональную систему, приводит к нарушению нормальной организации двигательного акта. Одним из методов исследования произвольного движения являются «связанные с движением потенциалы мозга» (СДПМ) – кратковременные сдвиги биопотенциалов, возникающие в мозге человека за несколько секунд до начала движения и в момент его реализации. Известно, что в компонентах СДПМ отражаются разные фазы как подготовительных процессов, так и процессов, связанных с реализацией двигательных команд и последующей корректировкой моторной задачи. У пациентов с поражениями головного мозга снижение спонтанности поведения проявляется невозможностью выполнить даже простое произвольное движение. При выраженной аспонтанности пациент может непроизвольно повторить движение вслед за инструктором, однако не имеет собственного побудительного механизма для произвольного совершения движения. Уровень мотивации и готовность к произвольному выполнению движения отражаются в амплитудно-временных параметрах потенциала готовности, который может являться, в совокупности с другими преддвигательными компонентами СДПМ, электрофизиологическим маркером спонтанности при выполнении двигательной задачи. Настоящее исследование направлено на поиск электрографических коррелятов спонтанности при выполнении произвольного движения. Показано, что в качестве таковых могут выступать преддвигательные компоненты СДПМ (N1 – ранняя и N2 – поздняя фаза потенциала готовности), которые являются электрофизиологическим отражением процессов подготовки и запуска движения.

Ключевые слова: произвольные движения, связанные с движением потенциалы мозга, потенциал готовности, электрографические корреляты спонтанности

MOVEMENT-RELATED POTENTIALS OF THE HUMAN BRAIN AS AN ELECTROGRAPHIC CORRELATE OF THE PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF AN VOLUNTARY MOTOR ACT

[1]Troshina E.M., [1]Sazonova O.B., [1]Krotkova O.A., [2]Sharova E.V., [1]Kaverina M.Yu., [2]Boldyreva G.N., [2]Zhavoronkova L.A.

[1]Federal State Autonomous Institution «N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery»of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, e-mail: emt@inbox.ru;
[2]Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow

Voluntary human movements are realized through the interaction of various brain structures that make their own specific contribution to the construction of movement. The defeat of any of these structures, combined in a complex functional system, leads to a violation of the normal organization of the motor act. One of the methods of studying voluntary movement is «movement-related brain potentials» (MRBP) – short-term shifts of biopotentials that occur in the human brain a few seconds before the start of movement and at the time of its implementation. It is known that the MRBP components reflect different phases of both preparatory processes and processes related to the implementation of motor commands and subsequent adjustment of the motor task. In patients with brain damage, reduced spontaneity of behavior is manifested by the inability to perform even a simple voluntary movement. With pronounced spontaneity, the patient can involuntarily repeat the movement after the instructor, but does not have its own incentive mechanism for voluntary movement. The level of motivation and readiness to perform any movement are reflected in the amplitude-time parameters of the readiness potential, which can be, in conjunction with other pre-motor components of the MRBP, an electrophysiological marker of spontaneity when performing a motor task. The present study is aimed at searching for electrographic correlates of spontaneity when performing an arbitrary movement. It is shown that these can be the pre – motor components of the MRBP (N1 – early and N2-late phase of the readiness potential), which are an electrophysiological reflection of the processes of preparing and starting the movement.

Keywords: voluntary movements, movement-related brain potentials, readiness potential, electrographic correlates of spontaneity

Снижение спонтанной активности у пациентов с поражениями головного мозга в значительной степени затрудняет процесс их реабилитации, вплоть до полной блокировки восстановительного процесса. На фоне выраженной аспонтанности пациент может выполнить движение, непроизвольно повторив его вслед за инструктором,

однако не имеет собственного побудительного механизма для произвольного совершения движения.

Произвольные движения человека реализуются благодаря взаимодействию различных структур мозга, которые вносят свой специфический вклад в построение движения. Поражение любой из мозговых структур, объединенных в сложную функциональную систему, приводит к нарушению нормальной организации двигательного акта.

При исследовании функции произвольного движения наиболее эффективными являются анализ генерализованных и длительных изменений биоэлектрической активности мозга по данным суммарной ЭЭГ [1, 2] и сопоставление их с параметрами фМРТ при выполнении двигательной задачи [3, 4], а также анализ кратковременных сдвигов биопотенциалов, возникающих в мозге человека за несколько секунд до начала движения и непосредственно в момент его реализации – потенциалы мозга, связанные с движением [5] (или «связанные с движением потенциалы мозга» – СДПМ).

В структуре потенциалов мозга, связанных с движением (movement-related cortical potentials), еще в 1964 г. Kornhuber H. и Deecke L. была описана медленно развивающаяся негативная волна, максимально представленная в центральных и теменных областях мозга перед началом произвольного движения – потенциал готовности (ПГ) или Bereitschaftpotential (BP). Позже выявлен комплекс негативно-позитивных колебаний, которые предшествуют движению – ранние преддвигательные компоненты (преддвигательная позитивность, моторный потенциал) и постдвигательные компоненты, возникающие в процессе реализации движения (негативный фронтальный пик, постдвигательная позитивность, потенциал реафферентации) [5, 6]. Компоненты СДПМ являются электрографическими маркерами корково-подкоркового взаимодействия мозговых структур в процессе подготовки и реализации движения [7–9].

Потенциал готовности, формирующийся за несколько секунд до начала выполнения произвольного движения, является электрографическим эквивалентом процесса формирования моторной программы и исследуется в комплексе с анализом ЭЭГ и ЭМГ активности предшествующей движению [10, 11]. Уровень мотивации, готовность к произвольному выполнению движения, скорость движения [6, 12, 13], сложность реализации моторной задачи [14] отражаются в амплитудно-временных параметрах ПГ. Можно предположить, что, в совокупности с другими преддвигательными компонентами СДПМ, он может рассматриваться как электрофизиологический коррелят спонтанности при выполнении двигательной задачи.

Основываясь на том положении, что в компонентах СДПМ отражаются разные фазы как подготовительных процессов, так и процессов, связанных с реализацией двигательных команд и последующей корректировкой моторной задачи, естественно предположить, что нарушение эфферентного или афферентного звена в системе организации произвольного движения отражается в изменениях формы и фаз СДПМ.

Цель настоящего исследования состояла в выявлении особенностей СДПМ при поражении коркового уровня двигательного анализатора у больных с односторонним поражением (опухоль) теменных и центральных областей мозга, сопровождавшимся клиническими признаками нарушения эфферентной или афферентной составляющих движения.

Материалы и методы исследования

Методика исследования была описана в нашей публикации [8]. Регистрация СДПМ проводилась от теменных (P3, P4) и центральных (C3, C4) областей мозга. Расположение электродов согласно международной системе 10–20%, референтные электроды – на мочках ушей. Записывались СДПМ при ритмичном сжимании эспандера в произвольном темпе, но не чаще 1 раза в 5–6 с, одновременно регистрировалась ЭМГ-активность от мышц руки, сжимающей эспандер. Осуществлялась суммация и усреднение СДПМ и ЭМГ «работающей» руки, эпоха анализа 5 с (3 с до и 2 с после запускающего стимула, которым служило замыкание контакта при сжимании эспандера). Время появления компонентов СДПМ вычислялось относительно пика усредненной ЭМГ. Амплитуда первого негативного компонента (N1) – потенциала готовности определялась от момента стабильного подъема до его максимума, амплитуда остальных компонентов подсчитывалась от пика до пика. Анализу подвергались преддвигательные компоненты СДПМ, возникающие до пика усредненной ЭМГ (N1, P1, N2), которые являются электрофизиологическими коррелятами процесса подготовки (формирование моторной задачи) и запуска движения, а также постдвигательные компоненты, возникающие после пика усредненной ЭМГ (P2 и N3), являющиеся электрофизиологическими коррелятами процесса реализации и завершения движения.

СДПМ исследовались у 25 здоровых испытуемых (добровольцев) в возрасте 26–47 лет (средний возраст 36 лет) и у 34 больных с опухолью мозга теменно-центральной локализации (16 мужчин и 18 женщин в возрасте 28–67 лет, средний возраст – 47,5 лет). У 27 человек опухоль располагалась конвекситально и у 7 пациентов – внутримозговое расположение патологического процесса, у 14 больных опухоль располагалась в правом и у 20 больных – в левом полушарии. Локализация патологического процесса верифицирована на операции. Регистрация СДПМ у больных проводилась на этапе дооперационного обследования. По данным неврологического осмотра у всех пациентов выявлены нарушения в двигательной сфере: у 18 больных (1-я группа) определялся симптомокомплекс характерный для нарушения эфферентного, и у 16 больных (2-я группа) – афферентного звена двигательной системы.

Результаты исследования и их обсуждение

У *здоровых испытуемых* в центральных и теменных областях обоих полушарий, как правило, симметрично регистрируется медленное негативное колебание, начинающееся за 900–1400 мс до пика ЭМГ, амплитудой 9–12 мкВ – потенциал готовности (компонент N1) (рис. 1).

В период нарастания мышечной активности за 150–160 мс до пика ЭМГ регистрируется низкоамплитудное позитивное колебание (P1) и за 120–130 мс начинает формироваться негативный компонент N2, достигающий максимума примерно за 40–90 мс до пика ЭМГ, имеющий амплитуду 5–7 мкВ. Компоненты P1 и N2 регистрируются билатерально с преобладанием по амплитуде в полушарии контралатеральном по отношению к «работающей» руке. На фоне снижения амплитуды усредненной ЭМГ возникает позитивное колебание P2, амплитудой 10–13,5 мкВ, достигающее максимума через 200–400 мс после пика усредненной ЭМГ. Зарегистрирован также медленный негативный компонент N3, появляющийся через 600–800 мс после пика усредненной ЭМГ и достигающий максимума (10–14 мкВ) после завершения ЭМГ-активности. Значимые межполушарные различия компонентов СДПМ в полушарии контралатеральном и ипсилатеральном по отношению к «работающей» руке не выявлены.

Компонентный состав и амплитудно-временные параметры потенциалов мозга, возникающие при совершении произвольного движения, описаны в литературе достаточно четко, несмотря на некоторые отличия в терминологии, вариативности параметров и интерпретации данных, что, по-видимому, обусловлено различием методик исследования. Показано, что в преддвигательных компонентах потенциалов мозга, связанных с движением, находят отражение процессы формирования моторной программы, подготовки и запуска движения [6, 13].

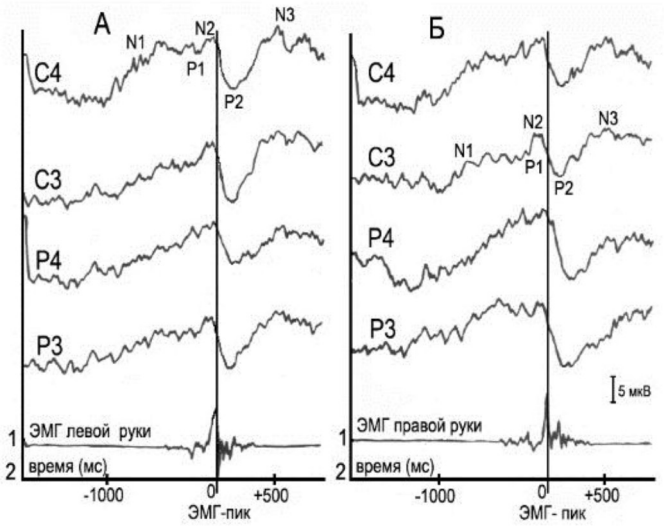


Рис. 1. СДПМ здорового испытуемого, зарегистрированные от теменных (P4, P3) и центральных (C4, C3) областей мозга при сжимании эспандера левой (А) и правой (Б) рукой; 1 – усредненная ЭМГ «работающей» руки; 2 – время возникновения компонентов вызванного ответа в мс; N1, P1, N2 – преддвигательные компоненты СДПМ; P2, N 3 – постдвигательные компоненты

Учитывая зависимость параметров ПГ от уровня мотивации, готовности к выполнению произвольного действия, скорости выполнения движения [6, 12, 13], в нашем исследовании был сделан акцент на анализе ранних преддвигательных компонентов СДПМ (N1 и N2) для оценки возможности использовать данные электрографические феномены в качестве электрофизиологических коррелятов спонтанности. Мы рассматриваем компоненты N1 и N2 как раннюю и позднюю фазы одной волны – потенциала готовности, отражающие процессы, происходящие на разных уровнях мозга в период подготовки движения. Мы полагаем, что генез компонента N2 связан с активностью коры. Для исследования данного предположения мы провели исследование СДПМ у пациентов с поражением коркового уровня двигательного анализатора.

У пациентов с *эфферентными нарушениями* в двигательной сфере (18 человек – группа 1) отмечены резкие, по сравнению с нормой, нарушения СДПМ, особенно на стороне патологического процесса при движении *контралатеральной* рукой. Это выражалось в снижении амплитуды (на 2,8–4,5 мкВ) и увеличении времени до пика усредненной ЭМГ (на 300–400 мс) компонента N1. Компонент N2 у 12 больных отсутствовал, а в остальных случаях (6 пациентов) отмечалось резкое снижение его амплитуды (на 2,0–3,7 мкВ) (рис. 2).

Постдвигательные компоненты СДПМ также были значительно изменены: выявлялось снижение амплитуды компонента P2 на 2,5–4,0 мкВ и компонента N3 на 2,0–5,0 мкВ и увеличение времени после пика усредненной ЭМГ до достижения максимума компонента P2 на 100–250 мс и N3 на 150–350 мс. У пациентов данной группы при неврологическом обследовании было отмечено повышение мышечного тонуса в руке, контралатеральной патологическому процессу, что электрографически выражалось увеличением длительности усредненной ЭМГ до и после пика и коррелировало с увеличением временных параметров компонентов N1, P2 и N3.

СДПМ, зарегистрированные на стороне патологического процесса при движении *ипсилатеральной* рукой, отличались значительным снижением амплитуды компонентов N1 (на 2,5–3 мкВ) и N2 (на 1,7–3,5 мкВ), амплитудно-временные параметры остальных компонентов двигательного ответа были близки к норме. СДПМ, зарегистрированные в интактном полушарии, практически не изменены.

У пациентов с *афферентными нарушениями* в двигательной сфере (16 человек – группа 2) отмечены менее выраженные изменения СДПМ. Амплитудно-временные параметры компонентов двигательного ответа на стороне патологического процесса при движении *контралатеральной* рукой хотя и отличаются от нормативных данных, однако в значительно меньшей степени выражены, чем у больных 1-й группы (рис. 3).

По сравнению с нормой амплитуда компонента N1 в среднем снижена на 1,4–2,7 мкВ, а время до пика усредненной ЭМГ увеличено на 150–270 мс; амплитуда компонента N2 снижена на 2,0–3,5 мкВ. Время после пика усредненной ЭМГ до достижения максимума компонента P2 увеличено на 30–120 мс и N3 на 80–200 мс, амплитуды компонентов P2 и N3 снижены соответственно на 1,5–2,5 мкВ и 1,2–3,3 мкВ.

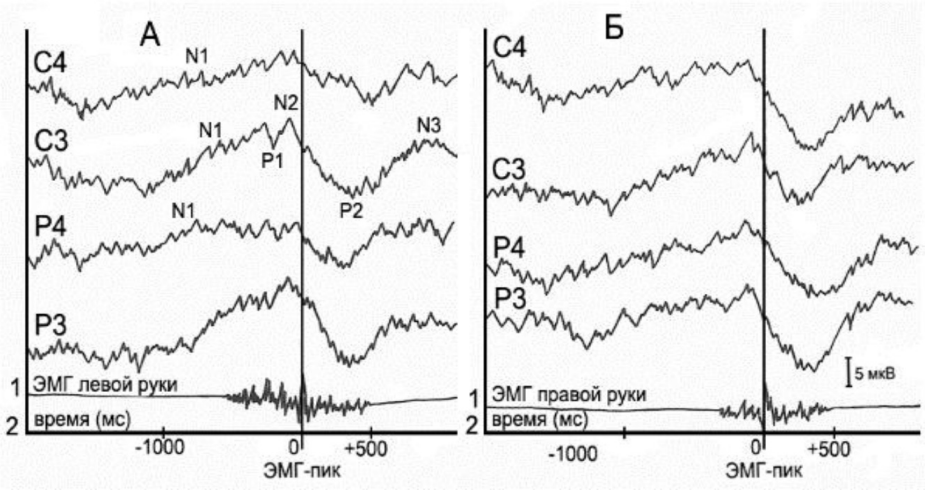


Рис. 2. СДПМ пациента П. Ds.: менингеома заднелобной области правого полушария, по данным неврологического осмотра эфферентные нарушения в двигательной сфере (группа пациентов 1). Обозначения те же, что на рис. 1

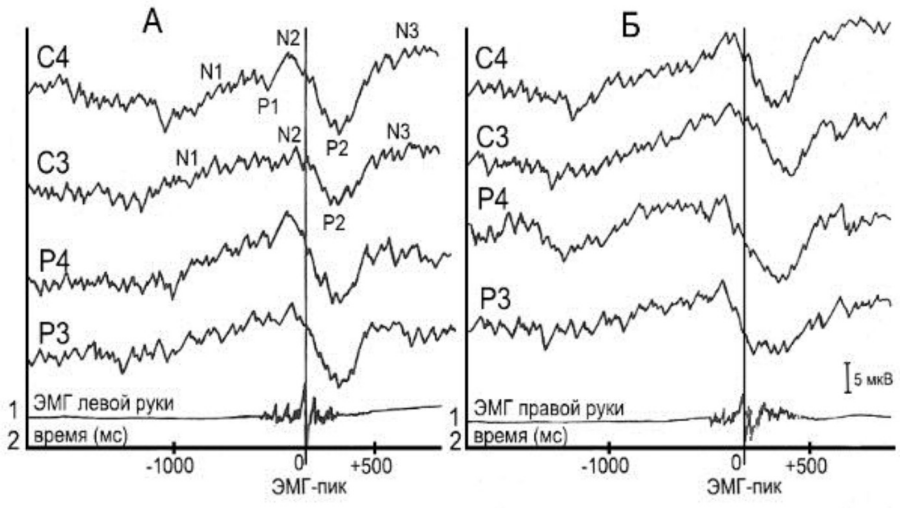


Рис. 3. СДПМ пациента B. Ds.: менингеома теменно-височной области левого полушария, по данным неврологического осмотра афферентные нарушения в двигательной сфере (группа пациентов 2). Обозначения те же, что на рис. 1

На стороне локализации опухоли, при движении *ипсилатеральной* рукой, отмечено преимущественное снижение амплитуды компонента N2, амплитудно-временные параметры остальных компонентов двигательного ответа были близки к норме. СДПМ, зарегистрированные в интактном полушарии, не отличались от нормативных данных.

Таким образом, у больных с очаговыми поражениями мозга теменно-центральной локализации отмечалось асимметричное нарушение двигательных потенциалов, наиболее выраженные изменения СДПМ выявлялись на стороне патологического процесса при движении контралатеральной рукой. Сходные по характеру изменения амплитудно-временных параметров компонента N2 у пациентов обеих групп, особенно отсутствие данного компонента в 2/3 случаев у пациентов 1-й группы, подтверждают положение о том, что его генез связан с активностью коры. Это также согласуется с данными, полученными нами ранее [15] – в структуре СДПМ при регистрации ответов с помощью электродов, имплантированных в ядра таламуса и мозжечка у пациентов с нарушением функции подкорковых двигательных структур (паркинсонизм) и ДЦП, компонент N2 отсутствовал. Относительно генеза ПГ имеются достаточно убедительные литературные данные о наличии не только корковых, но и субкортикальных его генераторов (заднелатеральное ядро таламуса, бледный шар, скорлупа, головка хвостатого ядра [7, 9, 15]. В исследованиях H. Shibasaki, M. Hallett [6] было показано разделение ПГ на раннюю и позднюю фазы. Формирование ранней фазы сопровождалось билатеральной активацией первичной двигательной, латеральной премоторной и дополнительной моторной коры. При формировании поздней фазы выявлялась активация первичной двигательной и премоторной коры преимущественно на стороне контралатеральной двигающейся конечности. Нарушение параметров компонентов N1 (ранней фазы ПГ) и N2 (поздней фазы ПГ) у обследованных нами больных обеих групп отражает изменение функционального состояния соответствующих структур коры головного мозга и согласуется с данными вышеуказанных исследований о генераторах преддвигательных компонентов СДПМ.

Выводы

1. При очаговых поражениях мозга теменно-центральной локализации выявляются асимметричные нарушения СДПМ; наиболее измененные ответы регистрируются на стороне патологического процесса при движении контралатеральной рукой.

2. Изменения СДПМ зависят от характера нарушения двигательной функции с большей выраженностью при поражении эфферентного звена двигательной системы.

3. Наиболее грубые изменения параметров компонента N2, вплоть до полной его редукции, при очаговых поражениях мозга теменно-центральной локализации подтверждают положение о том, что его генез обусловлен активностью коры.

4. При очаговых поражениях мозга теменно-центральной локализации выявляются изменения преддвигательных компонентов СДПМ (N1 – ранняя и N2 – поздняя фаза потенциала готовности), являющихся электрофизиологическим отражением процессов подготовки (формирование моторной программы) и запуска движения.

5. Преддвигательные компоненты СДПМ, как электрофизиологический эквивалент формирования моторной программы при совершении произвольного движения, могут рассматриваться в качестве электрографических коррелятов спонтанности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-01002 мк.

Список литературы

1. Lew E., Chavarriaga R., Silvoni S., Millán J. del R. Detection of self-paced reaching movement intention from EEG signals. Frontiers in Neuroengineering. 2012. vol. 5. art. 13. P. 1–17. DOI: 10.3389/fneng.2012.00013.

2. Deiber M.P., Sallard E., Ludwig C., Ghezzi C., Barral J., Ibañez V. EEG alpha activity reflects motor preparation rather than the mode of action selection. Frontiers in Integrative euroscience. 2012. vol. 6. art. 59. P. 1–11. DOI: 10.3389/fnint.2012.00059.

3. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челяпина М.В., Дубровская Л.П., Симонова О.А., Смирнов А.С., Трошина Е.М., Корниенко В.Н. ФМРТ и ЭЭГ реакции мозга здорового человека при активных и пассивных движениях ведущей рукой // Журнал высшей нервной деятельности. 2014. Т. 64. № 5. С. 388–399.

4. Soon C.S., He A.H., Bode S., Haynes J.-D. Predicting free choices for abstract intentions. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2013. vol. 110 no.15. P. 6217–6222. DOI: 10.1073/pnas.1212218110.

5. Синицкая Е.Ю., Грибанова А.В. Потенциалы мозга, связанные с движением // Экология человека. 2014. № 1. С. 49–59.

6. Shibasaki H., Hallett M What is the Bereitschaftspotential? Clinical Neurophysiology. 2006. vol. 117. P. 2341–2356.

7. Maoz U., Rutishauser U., Kim S., Cai X., Lee D., Koch C. Predeliberation activity in prefrontal cortex and striatum and the prediction of subsequent value judgment. Frontiers in Neuroscience. 2013. vol. 7. art. 225. P. 1–16. DOI: 10.3389/fnins.2013.00225.

8. Трошина Е.М. Особенности моторных потенциалов при нарушении функции подкорковых двигательных структур мозга человека // Журнал высшей нервной деятельности. 1989. Т. XXXIX. № 1. С. 37–43.

9. Rektor I. Intracerebral recordings of the Bereitschaftspotential and related potentials in cortical and subcortical structures in human subjects. Jahanshahi M., Hallett M., editors. The Bereitschaftspotential. Movement-related cortical potentials. N.Y.: Kluver Academic / Plenum Publishers, 2003. P. 61–77.

10. Schultze-Kraft M., Birman D., Rusconi M., Allefeld C., Görgen K., Dähne S., Blankertz B., Haynes J.-D. The point of no return in vetoing self-initiated movements. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2016. vol. 113. no. 4. P. 1080–1085. DOI: 10.1073/pnas.1513569112.

11. Bai O., Rathi V., Lin P., Huang D., Battapady H., Fei D.Y., et al. Prediction of human voluntary movement before it occurs. Clinical Neurophysiology. 2011. vol. 122. issue 2. P. 364–372. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.07.010.

12. Brunia C.H.M., van Boxtel G.J.M., Bocker K.B.E. Negative slow waves as indices of anticipation: the Bereitschaftspotential, the Contingent negative variation, and the stimulus-preceding negativity. The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components. Oxford Library of Psychology. Steven J. Luck, Emily S. Kappenman. Oxford University Press, 2011. P. 189–208.

13. Bozzacchi C., Giusti M., Pitzalis S., Spinelli D., Russo F. Awareness affects motor planning for goal-oriented actions. Biological Psychology. 2012. vol. 89. P. 503–514. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2011.12.020.

14. Schurger A, Sitt J.D., Dehaene S. An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2012. vol. 109. no. 42. P. 2904–2913. DOI: 10.1073/pnas.1210467109.

15. Архипова Н.А., Трошина Е.М., Шабалов В.А. Генез связанных с движением потенциалов мозга человека при различных формах двигательной патологии // Журнал высшей нервной деятельности. 1991. Т. 41. № 4. С. 655–662.

УДК 611.018

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛЕТОК И ТКАНЕЙ В РАНЕВОМ ПРОЦЕССЕ

[1]Чепурненко М.Н., [2]Чепурненко Д.А.

[1]ГБОУ ВПО «СЗГМУ имени И.И. Мечникова» Минздрава РФ, Санкт-Петербург, e-mail: mrgchep@gmail.com;

[2]ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург

Цель исследования – выявить реактивные изменения клеток и тканей на этапах заживления кожной раны в зоне «молекулярного сотрясения» с позиции концепции о функциональных гистионах. Материалом для исследования регенерационных процессов явились ткани различного генеза кожи крыс и мышей. Сроки фиксации были выбраны с учетом ранее изученных гистологических изменений при нанесении различных видов повреждений подопытным животным, т.е. через 6 часов, 24 часа, на 3, 6, 15 и 25-е сутки после повреждения. Для характеристики реактивных изменений клеток и тканей был использован следующий комплекс гистологических исследований: световая и электронная микроскопии; процессы пролиферации регистрировали методом одноволновой цитоспектрофотометрии с помощью разработанного прибора. Процессы дифференциации и синтеза биологически активных веществ выявляли цитохимическими методами. Иммуногистохимически выявляли антиген ядерной пролиферации, позволяющий идентифицировать клетки в синтетическом периоде митотического цикла. Морфометрическими методами регистрировали количественные и качественные изменения гистологических элементов, проводили статистическую обработку результатов, а также применяли математическое моделирование для описания индивидуального характера течения клеточных реакций в процессе заживления ран. Заключение. Реактивные изменения клеток и тканей в раневом процессе базируются на закономерностях эмбрионального и постэмбрионального гистогенеза. Эти характеристики включают активацию и пролиферацию малодифференцированных клеток, их дифференциацию и взаимодействие с последующей адаптивной перестройкой регенерата. Для каждой фазы регенерации тканей кожи характерна гетероморфия клеточных элементов: внутридифферонная и междифферонная. Междифферонная гетероморфия определяется на межтканевом уровне взаимодействии при регенерации органа, формируется т.н. функциональный гистион. На основе гистологического исследования клеточного состава функциональных гистионов с целью математического моделирования формирования функциональных гистионов грануляционной ткани были включены клетки пяти клеточных дифферонов: нейтрофильные лейкоциты, тканевые базофилы, макрофаги, клетки фибробластического дифферона и эндотелиоциты. Диагностика распространения зоны «молекулярного сотрясения» необходима для выбора методов хирургической обработки и предотвращения отсроченной гибели тканевых элементов, приводящей к осложнению в раневом процессе.

Ключевые слова: ткани кожи, гистологический процесс, раневой процесс, пролиферация, дифференциации, тканевые элементы, рана

CHARACTERISTICS OF REACTIVE CHANGES OF CELLS AND TISSUES IN THE WOUNDED PROCESS

[1]Chepurnenko M.N., [2]Chepurnenko D.A.

[1]I.I. Mechnikov State Medical University, Saint Petersburg, e-mail: mrgchep@gmail.com;

[2]Military Medical Academy, Saint Petersburg

The purpose – to reveal the morphofunctional properties of cells and tissues at the stages of healing of a skin wound in the zone of «molecular concussion» from the perspective of the concept of functional histions. Tissues of various genesis of the skin of rats and mice were material for studying regenerative processes.The fixation dates were selected taking into account previously studied histological changes during the application of various types of damage to experimental animals, i.e. after 6 hours, 24 hours, on the 3rd, 6th, 15th and 25th day after the damage. The following set of histological studies was used to characterize reactive changes in cells and tissues: light and electron microscopy; proliferation processes were recorded by single-wave cytospectrophotometry using the developed device. The processes of differentiation and synthesis of biologically active substances were detected by cytochemical methods. Nuclear proliferation antigen was revealed immunohistochemically, which made it possible to identify cells in the synthetic period of the mitotic cycle. Using morphometric methods, quantitative and qualitative changes in histological elements were recorded, statistical processing of the results was carried out, and mathematical modeling was used to describe the individual nature of the course of cellular reactions during wound healing. Conclusion: Reactive changes in cells and tissues in the wound process are based on the laws of embryonic and postembryonic histogenesis. These characteristics include activation and proliferation of poorly differentiated cells, their differentiation and interaction with subsequent adaptive restructuring of the regenerate. Each phase of skin tissue regeneration is characterized by heteromorphy of cellular elements: intradifferential and interdifferential. Interdifferon heteromorphy is determined at the interstitial level of interaction during organ regeneration, the so-called «Functional histion.» On the basis of a histological study of the cellular composition of functional histions with the goal of mathematical modeling of the formation of functional histions of granulation tissue, five cellular differons were included: neutrophilic leukocytes, tissue basophils, macrophages, fibroblastic differon cells and endotheliocytes. Diagnosis of the spread of the «molecular concussion» zone is necessary to select surgical treatment methods and prevent delayed death of tissue elements, leading to complications in the wound healing process.

Keywords: skin tissue, histological process, wound healing, proliferation, differentiation, tissue elements, wound

Регенерация тканей является предметом изучения исследователей теоретических и клинических дисциплин, которые внесли значительный вклад в понимание механизмов восстановления тканей после повреждения. Большой вклад в изучение проблемы регенерации тканей с гистогенетических позиций внесли профессора А.А. Заварзин, Н.Г. Хлопин, С.И. Щелкунов, А.А. Клишов и другие.

Фундаментальные работы профессоров Н.Н. Аничкова, И.В. Давыдовского, С.С. Гирголава, Д.С. Саркисова, И.А. Ерюхина, Ю.Г. Шапошникова и других являются настольными книгами для исследователей, занимающихся проблемами регенерации тканей.

Несмотря на имеющиеся достижения, остаются недостаточно изученными теоретические вопросы посттравматического гистогенеза тканей кожи при различных видах механического повреждения, в том числе и огнестрельном ранении [1].

Огнестрельное повреждение включает разные факторы воздействия: механическое, термическое, химическое действие пороховых газов, микробное обсеменение и др. Каждый из этих факторов вносит свой вклад в общую картину огнестрельного повреждения тканей [1].

При этом представляет интерес исследование влияния каждого из перечисленных факторов в отдельности, в последние годы большое внимание уделяется кинетической составляющей повреждающего агента. Это связано с тем, что при огнестрельном ранении кинетическая составляющая формирует зону «молекулярного сотрясения».

Особенность гистологической картины в зоне «молекулярного сотрясения» заключается в индивидуальном характере клеточных и тканевых реакций, возникновении различных форм гибели клеток, которые наблюдаются даже при заживлении ран, резкие расстройства гемомикроциркуляции, изменение клеточного состава в процессе заживления ран вследствие формирования органо-тканевого комплекса – грануляционной ткани.

Диагностика распространения зоны «молекулярного сотрясения» необходима для выбора методов хирургической обработки и предотвращения отсроченной гибели тканевых элементов, приводящей к осложнению в раневом процессе.

Цель исследования: выявить морфофункциональные свойства клеток и тканей на этапах заживления кожной раны в зоне «молекулярного сотрясения» с позиции концепции о функциональных гистионах.

Материалы и методы исследования

На первом этапе исследования была разработана экспериментальная модель повреждения, стандартизированная по исполнению для получения репрезентативных данных. Это необходимо для количественной оценки гистологических изменений в тканевых элементах [1–3].

В 1-й серии экспериментов были использованы белые мыши массой 20–30 граммов. В межлопаточную область спины животным наносили сквозное ранение кожи пробойником диаметром 3 мм. Кинетическая энергия, прикладываемая к нему, соответствовала энергии, возникающей при выстреле из пневматической винтовки.

Во 2-й серии экспериментов были использованы белые беспородные крысы массой 200–300 граммов. Для нанесения механической травмы была использована установка по передаче кинетической энергии окружающим раневой канал тканям. Подопытным животным в область голени наносили механическую травму, эквивалентную по энергии удару пули калибром 5,6 мм.

Материалом для исследования регенерационных процессов явились ткани различного генеза кожи крыс и мышей. Сроки фиксации были выбраны с учетом ранее изученных гистологических изменений при нанесении различных видов повреждений подопытным животным (через 6 часов, 24 часа, на 3, 6, 15 и 25-е сутки после повреждения).

Для характеристики реактивных изменений клеток и тканей был использован следующий комплекс гистологических исследований: световая и электронная микроскопии; процессы пролиферации регистрировали методом одноволновой цитоспектрофотометрии с помощью прибора, созданного на кафедре. Процессы дифференциации и синтеза биологически активных веществ выявляли цитохимическими методами. Иммуногистохимически выявляли антиген ядерной пролиферации, позволяющий идентифицировать клетки в синтетическом периоде митотического цикла. Морфометрическими методами регистрировали количественные и качественные изменения гистологических элементов, проводили статистическую обработку результатов, а также применяли математическое моделирование для описания индивидуального характера течения клеточных реакций в процессе заживления ран [1].

Гистогенетический подход предполагает изучение состояния тканей в норме, т.е. до нанесения повреждения, считая это «нулевой» фазой регенерации [1].

Указанный комплекс гистологических исследований для изучения каждой фазы регенерации тканей кожи позволит оценить гетероморфию клеточных элементов: внутридифферонную и междифферонную. Междифферонная гетероморфия определяется на межтканевом уровне взаимодействии при регенерации органа, формируется т.н. функциональный гистион [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка фазности течения регенерационного процесса и характеристика реактивных изменений клеток и тканей в раневом процессе основывались на установленных гистогенетических закономерностях «нулевой» фазы регенерации.

После нанесения повреждения кожи, в 1-е сутки, отмечаются изменения в нейтрофильных лейкоцитах периферической крови в количественном и качественном эквиваленте. Данные изменения наблюдаются в процессах дифференциации и синтеза биологически активных веществ – неферментативных катионных белков. Это свидетельствует о фазе воспалительной реакции в разворачивающемся регенерационном процессе (рис. 1).

К концу первых суток эксперимента устанавливается гетероморфия в популяции нейтрофилов по активности катионных белков. Отмечается повышение количества нейтрофилов периферической крови с высокой активностью катионных белков и понижение числа клеток со слабой и умеренной активностью катионных белков. Отмечается снижение концентрации катионных белков в нейтрофильных гранулоцитах к 3-м суткам опыта и дальнейшее нарастание концентрации катионного белка к 25-м суткам регенерации, что отражает снижение внутридифферонной гетероморфии.

У экспериментальных животных после нанесения механической травмы с передачей кинетической энергии, эквивалентной огнестрельному ранению, формировалась «зона молекулярного сотрясения». Особенность гистологической картины в зоне «молекулярного сотрясения» заключается в индивидуальном характере клеточных и тканевых реакций, возникновении различных форм гибели клеток, которые наблюдаются даже при заживлении ран, в резких расстройствах гемомикроциркуляции, изменении клеточного состава в процессе заживления раны вследствие формирования органо-тканевого комплекса – грануляционной ткани.

К 3-м суткам эксперимента появляются реактивные изменения в виде мгновенной и ранней отсроченной гибели клеток практически всех тканевых элементов кожи, что обуславливает снижение внутри- и междифферонной гетероморфии. Это сигнализирует о начале фазы ранних посттравматических изменений.

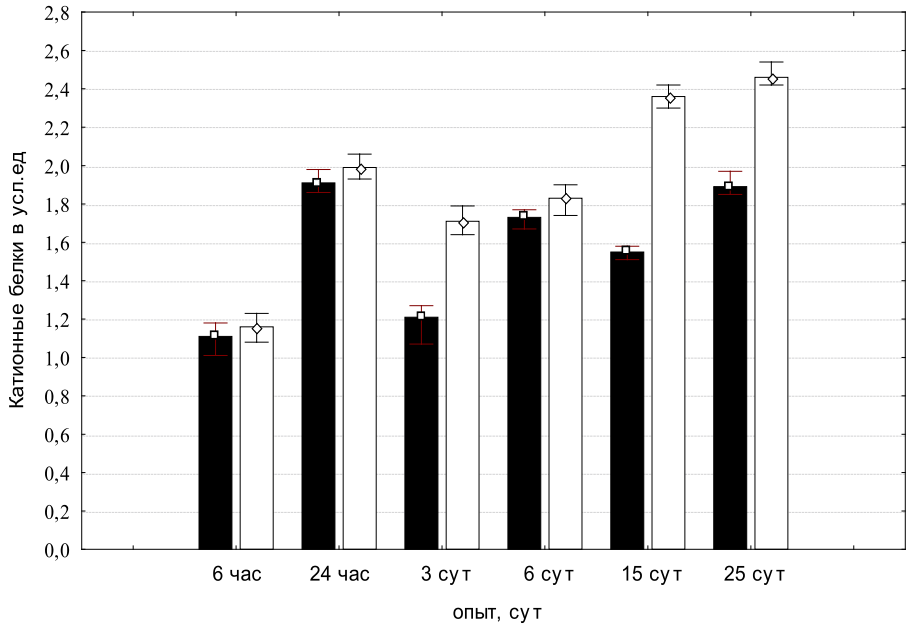


Рис. 1. Профиль катионных белков периферической крови в нейтрофильных лейкоцитах. Обозначения: белый – палочкоядерные нейтрофилы; черный – сегментоядерные нейтрофилы

Рис. 2. Реакция на PCNA в ядрах эпителиоцитов волосяного фолликула. 3-и сутки. Х 252

Миграция гематогенных клеточных элементов (лейкоцитов, тканевых базофилов, макрофагов) в «зону молекулярного сотрясения» как следствие начала формирования лейкоцитарного вала и постепенного увеличения междифферонной гетероморфии. Однако с междифферонной гетероморфией можно наблюдать и внутридифферонную гетероморфию при формировании функционального гистиона воспаления, представляющего собой кооперацию эндотелиоцитов, нейтрофильных лейкоцитов, тканевых базофилов. Появление макрофагов является дальнейшим развитием грануляционной ткани.

Гистологическим маркером перехода от фазы воспаления к фазе регенерации является увеличение клеток, экспрессирующих ген ядерной пролиферации (PCNA). Ведущими гистологическими элементами с 3-х суток эксперимента становятся клетки, вступающие в митотический цикл. В эпителиальной ткани кожи это не только кератиноциты росткового слоя эпидермиса, но и кератиноциты наружных волосяных влагалищ, сохранивших жизнеспособность (рис. 2).

Иммуногистохимически выявлен антиген ядерной пролиферации в составе эпителиального регенерата. В соединительных тканях кожи активация пролиферации отмечается в: периваскулярных клетках, фибробластах дермы и эндомизии подкожной мышцы.

Индекс пролиферации с 3-х по 15-е сутки в «зоне молекулярного сотрясения» снижается, что доказывается изменением количественного содержания ДНК в ядрах фибробластов при исследовании методом цитоспектрофотометрии.

В фазе дифференцировки тканевых элементов происходит постепенное образование регенерата, являющегося очередной фазой регенерационного гистогенеза. Гистологическим критерием этой фазы является формирование особой органотканевой структуры – грануляционной ткани. Отмечается увеличение степени междифферонной гетероморфии, с преобладанием клеточных элементов рыхлой волокнистой соединительной ткани и дифферона эндотелиоцитов.

Гистологическим показателем фазы дифференцировки является возрастание внутридифферонной и междифферонной гетероморфии тканевых элементов в соединительных тканях кожи. В регенерационном гистионе ведущими гистологическими элементами являются фибробласты, эндотелиоциты и макрофаги.

К 25-м суткам эксперимента междифферонная гетероморфия регенерата снижается медленно и длительное время остается на достаточно высоком уровне. В гистионе адаптивной фазы регенерационного гистогенеза гистологическими ведущими элементами являются фиброциты.

Характеристика изменения клеточного состава функциональных гистионов служит надежным диагностическим критерием и является показателем последовательности течения регенерационного процесса. На основе гистологического исследования клеточного состава функциональных гистионов с целью математического моделирования формирования функциональных гисти-

онов грануляционной ткани были включены клетки пяти клеточных дифферонов: нейтрофильные лейкоциты, тканевые базофилы, макрофаги, клетки фибробластического дифферона и эндотелиоциты. Выстроенная математическая модель регенерационного процесса тканей кожи выявляет временные особенности индивидуального изменения клеточного состава функциональных гистионов регенерата.

Заключение

Реактивные изменения клеток и тканей в раневом процессе базируются на закономерностях эмбрионального и постэмбрионального гистогенеза. Эти характеристики включают активацию и пролиферацию малодифференцированных клеток, их дифференциацию и взаимодействие с последующей адаптивной перестройкой регенерата [4; 5]. Для каждой фазы регенерации тканей кожи характерна гетероморфия клеточных элементов: внутридифферонная и междифферонная. Междифферонная гетероморфия определяется на межтканевом уровне взаимодействии при регенерации органа, формируется т.н. функциональный гистион. На основе гистологического исследования клеточного состава функциональных гистионов с целью математического моделирования формирования функциональных гистионов грануляционной ткани были включены клетки пяти клеточных дифферонов: нейтрофильные лейкоциты, тканевые базофилы, макрофаги, клетки фибробластического дифферона и эндотелиоциы [5]. Диагностика распространения зоны «молекулярного сотрясения» необходима для выбора методов хирургической обработки и предотвращения отсроченной гибели тканевых элементов, приводящей к осложнению в раневом процессе [1; 2; 5].

Список литературы

1. Данилов Р.К. Раневой процесс: гистогенетические основы. СПб.: ВМедА им. С.М. Кирова, 2007. 380 с.

2. Русакова С.Э., Одинцова И.А. Экспериментальные модели для изучения камбиальных свойств тканей // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2017. Т. 3 (59). С. 120–122.

3. Миргородская О.Е., Горбулич А.В., Одинцова И.А., Данилов Р.К. Междифферонные взаимодействия в условиях дезинтеграции тканей кожи// Морфологические науки и клиническая медицина: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посв. 100-летию со дня рождения засл. деятеля науки РСФСР и ЧАССР, д-ра мед. наук, профессора Валентины Васильевны Амосовой. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 103–106.

4. Бирина В.В., Одинцова И.А., Русакова С.Э. Сравнительная характеристика пролиферации фибробластов и функциональной активности тучных клеток в регенерационном гистогенезе после огнестрельного повреждения// Известия Российской Военно-медицинской академии. 2020. Т. 39. № 1. С. 42–47.

5. Чепурненко М.Н. Морфо-математическая модель гистионов регенерационного гистогенеза. // Вопросы морфологии XXI века. Выпуск 4. Сборник научных трудов: «Учение о тканях. Гистогенез и регенерация» / Под ред. И.А. Одинцовой, С.В. Костюкевича. СПб.: Издательство ДЕАН. 2015. С. 204–208.

ОБЗОРЫ

УДК 618.145

СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ЭТИОЛОГИЮ ХРОНИЧЕСКОГО ЭНДОМЕТРИТА

Исмаилова Ф.К., Петров Ю.А.

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: fortis.petrov@gmail.com

В данной статье представлены возможные причины возникновения хронического эндометрита (ХЭ) и его последствия. В настоящее время в России бесплодие является одной из самых обсуждаемых тем не только среди акушеров-гинекологов, но и врачей других специальностей. Ведь задача восстановления репродуктивной функции является нерешимой для медицинской науки с учётом демографических показателей в стране. Одной из главных причин бесплодия является хронический воспалительный процесс эндометрия, именуемый хроническим эндометритом. Воспаление эндометрия является препятствием и для успешной имплантации эмбриона. Значимость данного понятия определяется его скрытым течением и отсутствием единой теории развития ХЭ. В связи с этим на современном этапе имеется необходимость в усовершенствовании системы диагностики и терапии данной патологии. Профилактика ХЭ путём устранения этиологического фактора может существенно понизить процент невынашивания беременности или бесплодия среди женщин фертильного возраста. Отражены зависимость частоты ХЭ от различного рода гинекологических манипуляций, которые могут привести к неблагоприятному исходу. Проанализировано, какие микробные агенты играют главную роль в генезе ХЭ и каким образом происходит развитие воспалительного процесса.

Ключевые слова: хронический эндометрит, беременность, микроорганизмы, инфицирование, бесплодие

CURRENT VIEWS ON THE ETIOLOGY OF CHRONIC ENDOMETRITIS

Ismailova F.K., Petrov Yu.A.

Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, e-mail: fortis.petrov@gmail.com

This article presents all possible causes of chronic endometritis (CE) and its cosequences. At present in Russia infertility is one of the most discussed topics not only among obstetricians – gynaecologists, but also doctors of other specialities. After all, the task of restoring reproductive function is unresolved for medical science taking into account demographic indicators in the country. One of the main causes of infertility is the chronic inflammatory process of endometrium, called chronic endometritis. Endometrial inflammation is also an obstacle to successful embryo implantation. The significance of this concept is determined by its hidden current and the absence of a single theory of the development of CE. Therefore, there is a need at the present stage to improve the system of diagnosis and therapy of this pathology. The prevention of CE by eliminating the etiological factor can significantly reduce the rate of non – delivery of pregnancy or infertility among women of fertile age. The article also reflects the dependence of the frequency of CE on various kinds of gynecological manipulations, which are carried out at the moment every day and can lead to an unfavourable outcome. For example, this may be due to the lack of information of many women on contraception, abortion. It is analyzed which microbial agents play a major role in the genesis of CE and how the inflammatory process develops.

Keywords: chronic endometritis, pregnancy, microorganisms, infection, sterility

Хронический эндометрит (ХЭ) – это хронический воспалительный процесс эндометрия, возникающий вследствие внедрения инфекционного агента и характеризующийся стёртой клинической симптоматикой и латентным течением. ХЭ сопровождается нарушением процессов пролиферации, циклической трансформации и рецепторной активности эндометрия. При внедрении инфекционных агентов активируются процессы неоангиогенеза и склероза [1].

На территории Российской Федерации частота встречаемости ХЭ у женщин репродуктивного возраста в среднем составляет около 14%. Причем ХЭ возникает у 20–40% женщин с бесплодием и у 30% с неудачными попытками проведения экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) [2]. Данная нозология обращает на себя большое внимание учёных в связи с ростом числа пациенток с ХЭ.

Цель исследования: анализ литературы, посвященной современным представлениям об этиологических аспектах хронического эндометрита.

Акцентуация прегравидарного этапа, чёткий алгоритм в диагностике и лечении ХЭ являются важными этапами в борьбе с данной нозологией, однако в анализах научных работ отсутствует внимание к сохранению и восстановлению репродуктивных функций у женщин с ХЭ. Для разработки правильной стратегии профилактики ХЭ и прегравидарной подготовки необходимо иметь верные представления об этиологии данной нозологии.

На протяжении долгих лет между учёными возникал спор, следует ли выделять ХЭ в самостоятельную нозологическую единицу. В связи с этим подробно изучалась роль инфекционного агента в генезе воспалительного процесса эндометрия. Ряд учёных предполагали, что полость матки стерильна и проникновение микробной флоры вызовет воспалительный процесс, другие считали, что слизистая оболочка матки не может быть стерильна за счёт колонизации микроорганизмов из влагалища [3]. Лишь в 1977 г. было доказано, что в процесс вовлекается и базальный, и функциональный слои эндометрия, и ХЭ выделили в отдельную нозологическую форму в Международной статистической классификации болезней, травм и причин смерти IX пересмотра.

При развитии хронического воспалительного процесса в эндометрии в процесс вовлекаются функциональный и базальный слои. Воспаление рассматривается как универсальная защитная реакция организма в ответ на воздействие различных эндо- и экзогенных факторов. ХЭ можно рассматривать как хроническое продуктивное интерстициальное воспаление, характеризующееся избыточной пролиферацией клеточных элементов. Специфические макроскопические изменения при ХЭ, как правило, отсутствуют. Гистероскопия позволяет выявить наличие серозных, геморрагических или гнойных выделений [4].

На данный момент ХЭ многими учеными рассматривается как аутоиммунный процесс. Иммунная недостаточность возникает в результате вторичного иммунного дефицита, а также на фоне дезадаптации иммунной системы [5].

Существуют факторы, предрасполагающие к развитию ХЭ [6]:

1) ранняя и беспорядочная половая жизнь. Это приводит к высокому распространению инфекций, передающихся половым путём, таких как герпес, папилломавирусные инфекции, краснуха и другие;

2) травматизация эндометрия при внутриматочных вмешательствах и абортах. ХЭ может возникнуть в результате персистенции вагинозассоциированных инфекционных агентов в участке нарушения целостности эндометрия;

3) воспалительные заболевания в органах малого таза; 4) послеродовые инфекционные осложнения;

5) деформация полости матки вследствие нарушения отторжения эндометрия;

6) внутриматочная контрацепция.

Много лет обсуждался вопрос о связи возникновения ХЭ с использованием внутриматочной контрацепции [7]. По данным литературы, ХЭ возникает в 2–18% случаев при наличии внутриматочной спирали (ВМС) [8]. У 1,6–6% можно обнаружить фиброз стромы некоторых участков эндометрия, причём частота зависит от срока ношения контрацептива. При ношении ВМС слизистая оболочка тела матки претерпевает гиперпластические изменения в 2,3–8,9% случаев. Однако были проведены исследования, в результате которых было выяснено, что возникновение воспалительного процесса при ношении ВМС носит временный характер и является реакцией организма на инородное тело [9]. Следовательно, можно сделать вывод, что внутриматочная контрацепция может стать лишь предрасполагающим фактором в развитии ХЭ, но не является его причиной.

Как известно, в эндометрии присутствует специфический рецепторный аппарат. Нормальное функционирование и созревание эндометрия происходит за счёт рецепторов клеток эндометрия. Успешная имплантация и развитие зародыша невозможны без наличия рецептивного эндометрия и адекватного взаимодействия между ним и зародышем [10].

При ХЭ возникает рецепторная недостаточность. На начальных этапах воспаления в строме и железах повышается экспрессия эстрогеновых и прогестероновых рецепторов вследствие лимфоплазмоцитарной инфильтрации эндометрия на 6–9-й день менструального цикла. При сохранении пролиферативных процессов в эндометрии на 19–22-й день менструального цикла понижается экспрессия прогестероновых рецепторов, а экспрессия эстрогеновых рецепторов остаётся на высоком уровне [10; 11].

Морфологически верифицированный ХЭ подразделяется на гиперпластический, гипопластический и смешанный макротипы. Для каждого из этих вариантов характерны изменения стероидной рецепции. Так, при гиперпластическом варианте в железистом компоненте высокий уровень экспрессии эстрогенов сочетается с низким уровнем рецепции к прогестерону. В результате проведённых исследований было отмечено, что гиперпластический тип ХЭ характеризуется достаточно высоким уровнем конкордантности для Chlamidia trachomatis (40,6%). Также в слизистой оболочке матки и цервикальном канале были выявлены Candida albicans (11,3% и 17,9% соответственно) [11; 12].

Гипопластический тип характеризуется повышенным уровнем эстрогенов в железах при снижении их активности в строме в сочетании с нормальным уровнем экс-

прессии рецепторов к прогестерону. Для данного макротипа характерна высокая конкордантность к грамположительной флоре. При наличии 73% инфектов в цервикальном канале из полости матки высевалось лишь 46%. Подобная тенденция характерна и для грамотрицательной флоры [12]. Общепризнанно, что ХЭ возникает при внедрении патогенных штаммов микроорганизмов в эндометрий экзогенно (половым путём), а также при инфицировании через кровь, лимфу и нисходящие пути. В связи с этим выделяют первичный и вторичный ХЭ соответственно. Также ХЭ разделяют на специфический (хламидийный, вирусный, бактериальный, микоплазменный, грибковый, протозойный) и неспецифический, когда микробная флора в слизистой оболочке матки отсутствует [13].

Однако наличие лишь специфической микрофлоры недостаточно для развития ХЭ. По данным литературы, генез данной нозологии связан с состоянием организма женщины, то есть со сбалансированной работой между иммунной и гормональной системами, степенью вирулентности возбудителя и массивностью инфицирования [14–16].

Сметник В.П. и соавторы предложили классификацию ХЭ по морфологии:

1) атрофический (атрофия желёз, инфильтрация и фиброз стромы);

2) кистозный (формирование кистозных полостей за счёт сдавления фиброзной тканью протоков желез);

3) гипертрофический (гиперплазия слизистой оболочки в результате воспаления) [17].

По данным большинства авторов, полость матки не является стерильной. В работах Гомболевской Н.А. было доказано, что лактобациллы являются представителями нормальной вагинальной флоры, и их значение клинически не играет роли, так как их контаминация не вызывает развитие воспалительного процесса. Но при негативном воздействии различных факторов риска могут произойти морфофункциональные изменения в эндометрии [18].

Наиболее часто обнаруживаемыми инфекционными агентами при ХЭ являются хламидии, микоплазмы и уреаплазмы, а также бактерии и вирусы [18]. Микроорганизмы проникают в полость матки из нисходящих отделов полового тракта за счёт сперматозоидов, трихомонад, пассивного транспорта, возникающего вследствие отрицательного внутрибрюшного давления. Были проведены исследования, при которых у женщин с ХЭ в 29,9% была выделена условно-патогенная флора (УПМ), а у 71,1% – грамположительные палочки, грамположительные и грамотрицательные кокки. Однако микробиологическую диагностику на данный момент считают «слабым звеном» в детекции ХЭ. Было обнаружено, что отсутствие роста культуры при посеве содержимого полости матки не опровергает факт наличия патогенной флоры в эндометрии. Чаще всего при эндометритах персистируют вирусы, хламидии, микоплазмы и другие инфекционные агенты, а у пациенток с наличием бактериального вагиноза обнаруживается плазмоклеточная инфильтрация эндометрия, а также наличие различных анаэробных микроорганизмов [19; 20].

Получила научное подтверждение констатация факта распространённости негонококковых и нехламидийных эндометритов, доказанная за счёт выявления лейкоцитарной инфильтрации слизистой, связанной с наличием в цервикальном канале так называемых супербактерий (стафилококк, энтерококк, кишечная палочка) наряду с микоплазмами, вирусами и трихомонадами [21].

По данным Цыпурдеевой Н.Д. и соавторов, при развитии хронического воспалительного процесса повышается частота и количество Streptococcus spp. и бактерий семейства Enterobacteriaceae [22]. Korn A. et al. начал изучать этиологическую значимость бактерий, ассоциированных с бактериальным вагинозом в развитии ХЭ. По результатам его наблюдений, у 10 из 22 женщин с бактериальным вагинозом наблюдались воспалительные процессы в эндометрии [23]. Однако в 2006 г. выводы W.W. Andrews et al. оказались противоположными: было доказано отсутствие связи между бактериальным вагинозом и развитием ХЭ [24].

В 50,7% случаев регистрируется вирусная этиология ХЭ. По результатам исследований, наиболее часто выявлялись вирусы простого герпеса I–II типа, вирус папилломы человека типа 16 и 18. Но в наибольшей степени эндометрий подвергается морфологическим изменениям при сочетании бактериальной и вирусной инфекции, а также при аутоиммунном поражении. На сессии FIGO 2012 г. было представлено заключение об утверждении аутоиммунного генеза ХЭ, в отсутствие инфекционного агента. Данные выводы позволили убедиться в разнообразии патогенетических вариантов заболевания [23].

Бессимптомная персистенция возбудителя при наличии хронического воспалительного процесса в слизистой заставляет задуматься об изменениях динамической системы равновесия «микроб – макроорганизм». Следует отметить, что до сих пор

имеется недостаточное число сведений о влиянии инфектов в роли триггеров избыточной пролиферации слизистой, а также в вопросах проапоптического действия процессов, в частности их связь с изменениями рецепторной активности и микроархитектоники [24].

Баланс про- и антиапоптических факторов определяется инфектом путём контроля числа клеточных популяций эндометрия. Данные о пролиферативных каскадах в эндометрии можно оценить по маркеру пролиферации Ki – 67, экспрессии рецепторов к эстрогенам и прогестерону, а также по эффекторным каспазам апоптоза [25]. Итак, можно сказать, что инфект является триггерным фактором клеточной пролиферации слизистой, приводящим к повреждению эндометрия и, как следствие, к воспалительным событиям и гиперпластической реакции эндометрия.

Однако некоторые авторы считают, что роль инфекционного агента в генезе ХЭ преувеличена. Данное заключение было основано на результатах микробиологических исследований, в результате которых был обнаружен низкий процент контаминации эндометрия (52,7%). К тому же при проведении дополнительного микробиологического исследования в виде скрининга на анаэробную микрофлору у половины пациенток с отрицательным результатом из полости матки и перитонеальной жидкости были выделены анаэробы в концентрации минимум 104 КОЕ/мл [26]. Причины персистенции инфектов и развития воспаления, характер взаимоотношений вагинальной флоры, маточных и цервикальных культур, иммунологические и микробиологические аспекты до сих пор требуют углубленного анализа.

Можно сказать, что на данный момент ХЭ имеет ряд особенностей: смена этиологических факторов с ростом вирусной инфекции и УПМ, устойчивость УПМ к фармакотерапии, скудная клиническая симптоматика и возможность атипичного течения, высокая стоимость и длительность лечения.

При изучении роли УПМ в развитии ХЭ было проведено множество исследований, в результате которых было выявлено, что УПМ может долгое время персистировать в эндометрии, имея низкую скорость размножения. Можно предположить, что неоднозначность диагностики при определении низкого титра УПМ из эндометрия связана именно с этим фактом. Учёные сделали вывод о том, что способность УПМ вызывать ХЭ является полидетерминированным свойством, имеющим связь с действием факторов вирулентности микроорганизма и его патогенностью. Персистенция УПМ в эндометрии даёт начало развитию аутоиммунной реакции за счёт антигенов, имеющих общие свойства с тканевыми антигенами организма. Не исключено образование инфламмасом, так называемых белково–макрофагальных комплексов, являющихся составными компонентами как острого, так и хронического аутоиммунного воспаления. Кроме того, возможно развитие декомпенсации регуляторных механизмов локального гомеостаза в связи с длительной стимуляцией иммунокомпетентных клеток эндометрия, такой исход поддерживает инфекционный процесс [27; 28]. В ходе изучения ХЭ с аутоиммунным компонентом было обнаружено, что, несмотря на полноценную гормональную активность жёлтого тела и нормальную концентрацию прогестерона в крови, присутствовало отставание секреторной трансформации эндометрия.

Имеются данные о неблагоприятной роли персистирующих инфектов на процесс имплантации и раннего развития эмбриона. При ХЭ снижается выработка эндометрием иммуносупрессорных белков: α–микроглобулин фертильности (АМГФ), плацентарный α–микроглобулин (ПАМГ). АМГФ в свою очередь повышает продукцию ИЛ–6 эпителием эндометрия, следовательно, можно предположить об участии данного белка в формировании сети иммуномодулирующих пептидов. Также АМГФ подавляет активность естественных киллеров. В результате вместо необходимого для благоприятного течения беременности Th – 2 типа иммунного ответа наблюдается провоспалительный Th – 1 тип [29–31].

При ХЭ эндометрий претерпевает структурные и молекулярные перестройки, которые связаны с несвоевременным созреванием пиноподий к моменту «окна имплантации», наличием клеток воспалительного инфильтрата, с продукцией цитокинов, изменением состава экстрацеллюлярного матрикса, практически четырёхкратным снижением LIF (лейкемия – ингибирующий фактор), а также повышенным уровнем апоптоза функционального слоя эндометрия [32]. ХЭ служит причиной неблагоприятных исходов экстракорпорального оплодотворения (ЭКО). Так, у 40% пациенток с ХЭ зарегистрированы неудачные попытки ЭКО и переноса эмбрионов. Это связывают с избыточной концентрацией (200 пг/мл) эндотоксинов бактерий в менструальном отделяемом. По некоторым данным, ХЭ является одной из главных причин невынашивания беременности (47,4–52,1%). Гистологически у 73,1%

женщин с невынашиванием беременности (НБ), связанным с бактериальным обсеменением, выявляются признаки хронического воспалительного процесса и у 31 % – с НБ в анамнезе [33].

Заключение

В современных условиях хронический эндометрит характеризуется изменением этиологической структуры с увеличением значимости вирусной и условно–патогенной флоры. Наибольшего внимания заслуживает травма эндометрия, вхождения в матку на этапе планирования беременности (вспомогательные репродуктивные технологии, биопсии эндометрия), использование ВМК. Исходом данных манипуляций становится раневая поверхность эндометрия, которая является благоприятной питательной средой для микроорганизмов. Точное определение причины и коррекция возникающих нарушений с учётом патогенетического варианта ХЭ позволит предотвратить развитие вялотекущих заболеваний органов малого таза и станет залогом успеха в восстановлении репродуктивной функции.

Список литературы

1. Радзинский В.Е., Петров Ю.А., Полина М.Л. Хронический эндометрит: современные аспекты // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. Т. 24. № 5. С. 69–74.

2. Петров Ю.А. Микробиологические детерминанты хронического эндометрита // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 6 (166). С. 110–113.

3. Петров Ю.А. Специфика репродуктивного и контрацептивного поведения студентов медицинского университета // Валеология. 2016. № 2. С. 31–34.

4. Петров Ю.А. Гистероскопическая характеристика эндометрия женщин с ранними репродуктивными потерями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № 5. С. 243–247.

5. Петров Ю.А. Оценка адаптационного и иммунного резерва женщин с хроническим эндометритом в зависимости от объема реабилитационной терапии // Валеология. 2016. № 2. С. 35–39.

6. Сухих Г.Т., Шуршалина А.В. Хронический эндометрит. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 64 с.

7. Петров Ю.А. Оценка онкологического риска внутриматочной контрацепции на основе цитологических исследований эндометрия // Вопросы онкологии. 1985. № 12. С. 53.

8. Петров Ю.А. Клинико-морфологическая характеристика и онкологические аспекты применения внутриматочных контрацептивов: автореф. дис. …канд. мед. наук. Краснодар, 1984. 18 с.

9. Petrov Y.A., Kovaleva E.A. Proliferative mucosal changes of the corpus and cervix uteri in women using intrauterine contraceptives // Вопросы онкологии. 1986. Т. 32. С. 49.

10. Боярский К.Ю., Гайдуков С.Н., Пальченко Н.А. Современный взгляд на проблему рецептивности и тонкого эндометрия в программах ВРТ: обзор литературы // Проблемы репродукции. 2013. № 4. С. 51–60.

11. Путивцева Т.В. Побочные эффекты при применении внутриматочных противозачаточных средств (обзор литературы) // Синергия наук. 2017. № 18. С. 1015–1022.

12. Петров Ю.А. Аспекты микробиологической и иммунной диагностики хронического эндометрита // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 9.

13. Чернуха Е.А., Ананьев В.А. Новые технологии в акушерстве // Материалы научного форума. 2010. С. 129–132.

14. Петров Ю.А. Роль микробного фактора в генезе хронического эндометрита // Кубанский научный медицинский вестник. 2016. № 3 (158). С. 113–118.

15. Радзинский В.Е. Репродуктивное здоровье: учебное пособие // Под ред. В.Е. Радзинского. М.: РУДН, 2011. 728 с.

16. Айламазян Э.К., Кулаков В.И., Радзинский В.Е. Акушерство – национальное руководство М.: ГЭОТАР – Медиа, 2014. С. 376–389.

17. Гомболевская Н.А., Муравьёва В.В., Марченко Л.А., Анкирская А.С. Современные возможности этиологической диагностики хронического эндометрита // Акушерство и гинекология. 2012. С. 40–45.

18. Данусевич И.Н. Факторы риска развития хронического эндометрита у женщин с репродуктивными нарушениями // Acta Biomedica Scientifica. 2013. № 4 (92). С. 111–114.

19. Костин И.Н. Резервы снижения репродуктивных потерь в Российской Федерации: автореф. дис. …докт. мед. наук. Москва, 2012. 49 с.

20. Мухамедшина В.Р., Соколова Т.М. Влияние методов контрацепции на репродуктивное здоровье женщин // Сибирский медицинский журнал. 2011. № 3. С. 66–68.

21. Унанян А.Л., Сидорова И.С., Аракелов С.Э., Полонская Л.С., Коссович Ю.М., Кадырова А.Э., Бабурин Д.В. Хронический цервицит и хронический эндометрит: общие аспекты патогенеза и патогенетической терапии // Медицинский совет. 2013. № 4–2. С. 88–95.

22. Цыпурдеева Н.Д., Шипицына Е.В., Савичева А. М., Гзгзян А.М., Коган И.Ю. Состав микробиоты эндометрия и степень выраженности хронического эндометрита у пациенток с неэффективными протоколами экстракорпорального оплодотворения. Есть ли связь? // Журнал акушерства и женских болезней. 2018. № 2. С. 5–14.

23. Korn A., Bolan G., Padian N. Plasma cell endometritis in women with symptomatic bacterial vaginosis. Obstet Gynecol. 1995. Vol. 85(3). P. 387–390.

24. Andrews W.W., Hauth J.C., Cliver S.P., Conner M. Association of asymptomatic bacterial vaginosis with endometrial microbial colonization and plasma cell endometritis in nonpregnant women. Am. J. Obstet. Gynecol. 2006. Vol. 195. № 6. P. 1611–1616.

25. Мавлонова М.Н. Кольпоскопические особенности шейки матки при использовании внутриматочной контрацепции // Вестник Авиценны. 2016. № 4 (69). С. 46–48.

26. Овчарук Э.А. Гиперплазия эндометрия как проявление нарушения рецептивности при хроническом эндометрите // Исследования и практика в медицине. 2016. № 3. С. 117–119.

27. Акпербекова С.А. Состояние микробиоценоза эндометрия у женщин репродуктивного возраста с хроническим эндометритом // Сибирский медицинский журнал. 2018. № 3. С. 40.

28. Марченко Л.А., Чернуха Г.Е., Якушевская О.В., Гомболевская Н.А., Муравьева В.В., Припутневич Т.В. // Антибиотики и химиотерапия. 2016. Т. 61. № 9–10. С. 44–51.

29. Tibaldi C. Vaginal and endocervical microorganisms in symptomatic and asymptomatic non-pregnant females: risk factors and rates of occurrence. Clin Microbiol Infect. 2011. Vol. 17. № 8. P. 850.

30. Ross J.D. Is Mycoplasma genitalium a cause of pelvic inflammatory disease? Infect Dis Clin North Am. 2005. Vol. 19. № 2. P. 407–413.

31. Козырева Е.В., Давидян Л.Ю., Кометова В.В. Хронический эндометрит в аспекте бесплодия и невынашивания беременности // Ульяновский медико-биологический журнал. 2017. № 2. С. 56–63.

32. Айрапетов Д.Ю., Побединская О.С., Ордиянц И.М. Хронический эндометрит в генезе невынашивания беременности // Мать и дитя в Кузбассе. 2012. № 1 (4). С. 77–81.

33. Манухин И.Б., Семенцова Н.А., Митрофанова Ю.Ю. Хронический эндометрит и невынашивание беременности // Медицинский совет. 2018. № 7. С. 45–49.

СТАТЬИ

УДК 378.147:61

ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ОБРАЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ – ПЕРСПЕКТИВЫ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ. ОСОБЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ САМОИЗОЛЯЦИИ И КАРАНТИНА

Пенькова Л.В., Дилдабекова Н.Т., Асмагамбетова М.Т., Романова А.Р.

Медицинский университет Караганды, Караганда, e-mail: penkova_l_v@mail.ru

Тенденции современного мира показывают, что образование должно быть непрерывным процессом в жизни каждого человека, если он хочет быть востребованным специалистом, то должен постоянно развиваться и овладевать новыми знаниями и направлениями профессиональной деятельности. Метод дистанционного обучения на базе медицинского вуза помогает реализовывать многие цели и задачи в становлении высококлассных и профессиональных специалистов. И в этом важном деле на помощь приходят телемедицинские технологии, которые помогают осуществлять и лечебно-диагностические, и специфические научно-просветительские мероприятия. Дистанционное образование в медицине имеет как положительные моменты, так и отрицательные. Наша с вами задача – разобраться в вопросах преимущества дистанционного метода обучения в медицинском образовании, выяснить, с какими проблемами и недостатками мы сталкиваемся при этом, определить особенности при самоизоляции и карантине. Понимание этих аспектов будет способствовать тому, что система медицинского образования каждого высшего учебного заведения будет всё больше направлена в сторону развития дистанционной формы как додипломного, так и постдипломного обучения. Это даёт широкие возможности для каждого человека в совершенствовании своих навыков, умений независимо от того, где он проживает.

Ключевые слова: медицинское образование, методы обучения, дистанционное обучение

DISTANCE EDUCATION IN MEDICINE – PROSPECT, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES. FEATURES IN CONDITIONS OF SELF-ISOLATION AND QUARANTINE

Penkova L.V., Dildabekova N.T., Asmagambetova M.T., Romanova A.R.

Medical University of Karaganda, Karaganda, e-mail: penkova_l_v@mail.ru

Trends in the modern world show that education should be a continuous process in the life of every person, if they want to be in demand as a specialist, they must constantly develop and master new knowledge and areas of professional activity. The method of distance learning on the basis of a Medical University helps to realize many goals and objectives in the formation of high-class and professional specialists. And in this important matter, telemedicine technologies come to the aid, which help to carry out both medical and diagnostic and specific scientific and educational activities. Distance education in medicine has both positive and negative aspects. Our task is to understand the advantages of distance learning in medical education, and what problems and disadvantages we face in this case, especially in self-isolation and quarantine. Understanding these aspects will contribute to the fact that the system of medical education of each higher educational institution will be increasingly directed towards the development of distance education, both before graduation and post-graduate training. This gives a wide range of opportunities for each person to improve their skills, regardless of where they live.

Keywords: medical education, teaching methods, distance learning

В настоящее время всё больше людей считает, что получение высшего образования – это огромная необходимость, поскольку реалии жизни показывают, что человек с разносторонними знаниями чаще добивается успехов в жизни. А наличие диплома о высшем образовании способствует получению глубоких знаний по специальности, умению находить и обрабатывать большое количество информации, самостоятельно обучаться, ответственности и дисциплинированности, работе в крупных, в том числе государственных организациях, перспективе карьерного роста, возможности открыть своё дело. Но не все могут получить очное образование в силу разных обстоятельств: невозможность выехать в город, в другую страну, наличие постоянной работы, состояние здоровья и т.д.

Цель исследования: понять, каковы перспективы, достоинства и недостатки дистанционного метода образования в медицине. Особенности в условиях самоизоляции и карантина.

Качественное образование в медицине – это важный вопрос нашей страны. У Республики Казахстан большая территория с малочисленным населением. В сельской местности плохо развита инфраструктура, не хватает медицинского персонала – врачей высокого уровня квалификации и среднего медицинского персонала. Иногда врачи просто не могут поехать на специализацию в силу того, что их некому заменить на рабочем месте.

Медицинское образование в силу своей специфики не может проводиться дистанционно, потому что медики исконно, во все

времена получали образование у «постели больного». Однако по некоторым специальностям – фармация, сестринское дело, медико-биологическое дело (медико-диагностические специальности), общественного здравоохранения, медико-профилактическое дело – можно получать дистанционно базовые знания по дисциплине «Фармакология», или люди, которые имеют первое базовое медицинское образование, повышают свой профессиональный квалификационный уровень [1].

Материалы и методы исследования

В процессе исследования использовались методы логического, статистического анализа, а также метод сопоставления теоретических положений с практическими результатами опыта их претворения в образование на основе критерия объективности, изучение результатов деятельности студентов и преподавателей.

Результаты исследования и их обсуждение

Дистанционное образование уже прочно вошло в нашу жизнь. Этому способствовало бурное развитие IT-технологий. Современный преподаватель медицинского вуза должен иметь высокий уровень знаний не только в области своей специализации, но и во владении современными информационными и новейшими мультимедийными нанотехнологиями, что поможет ему в работе со студентами при дистанционном обучении. На преподавателя возлагается большая ответственность в управлении учебным процессом, в создании высококачественного блока учебно-методического материала, в помощи студентам по составлению индивидуального учебного плана. Он проводит консультации, онлайн-лекции, занятия и руководит учебными проектами [2]. Поэтому преподаватели и учёные нашего медицинского вуза, так же как и студенты, постоянно повышают и совершенствуют свой уровень квалификации. На базе университета постоянно организуются онлайн–вебинары на базе:

1. Информационной платформы Web of Science.
2. Издательства Wiley.
3. Издательства Springer Nature для учёных и организаций Казахстана.
4. Мультимедийный ресурс GIDEON, охватывающий сведения об эпидемиологической обстановке в любой отдельно взятой стране мира, содержит актуальную информацию и визуальные инструменты для диагностики заболеваний и отслеживания последних тенденций в эпидемиологии и лечении (*весьма актуальный ресурс в свете режима пандемии!*).
5. Мастер-классы от ведущих специалистов вузов нашей страны и дальнего и ближнего зарубежья.

Это лишь немногое из того, чем овладевает сам преподаватель. Но это способствует тому, что в результате дистанционного обучения преподаватель постоянно находится во взаимодействии со студентами: регулярно происходит обмен «вопрос-ответ» в режиме онлайн благодаря развитию огромной мировой сети Интернет. Это позволяет оперативно анализировать поступающую информацию, сделать выводы и отвечать на нее в удобное для студентов время, быть в курсе современных направлений и изменений в преподаваемой дисциплине [3].

В чем же преимущества и недостатки дистанционного обучения в медицине?

Преимущества дистанционного образования в медицине

1. Территориальная доступность. Человек, находящийся за сотни, а то и тысячи километров, имеющий компьютер и выход в Интернет, может позволить повышать свой уровень знаний у профессионалов высокого уровня, признанных профессоров науки. Это помогает также людям с ограниченными возможностями, работающим.

2. Материальная возможность. Иногда в силу жизненных обстоятельств человек не может позволить себе обучение в вузе из-за большой стоимости. А стоимость дистанционного обучения намного ниже.

3. Гибкость учебного процесса. Студенты не посещают регулярно лекции, практические занятия. Поэтому работают в удобном для себя режиме времени, месте. Набирая при этом необходимое количество кредитов для освоения дисциплины и сдачи экзаменов. Особенно это стало актуально в свете нынешней ситуации в Республике Казахстан и в мире в целом, когда идёт распространение COVID-19 и люди находятся в режиме самоизоляции и на карантине.

Контроль уровня полученных знаний методом дистанционного обучения осуществляется через: курсовые и проектные работы, тестовый контроль, дистанционные экзамены. Для успешного обучения и сдачи экзаменов в медицинском университете Караганды используются разные компьютерные программы: Moodle, Platonus, Zoom, MS Teams, Google Classroom, Cisco Webex, Zoom, Session.kgmu.kz, Turnitin, OneDrive, электронные библиотеки медицинского вуза Караганды «Консультант студента»,

«Консультант врача» (данные электронные ресурсы предоставляют доступ к полнотекстовым учебным и научным изданиям на русском, казахском и английском языках, а также к различным интерактивным материалам). В рамках акции «Карантин» электронно-библиотечная система NEW. ZNANIUM.COM предоставила тестовый доступ к коллекции «Медицина» и многие другие.

4. Развивает самостоятельность, ответственность и дисциплинированность. Если обучающийся выбрал дистанционное образование, да ещё и медицинское, то он прекрасно осведомлен, какую он взял на себя ответственность. Сейчас многие ответы на вопросы можно получить в Интернете, но студенты медицинского вуза сами должны быть заинтересованы в получении глубоких знаний. И хотя при этом обучении гибкий график, но сроки сдачи заданий, проектов и других материалов никто не отменял. Что дисциплинирует как преподавателя, так и студента.

От их самосознания, жёсткой самодисциплины и профессионализма будет зависеть в будущем здоровье и жизнь не только отдельно взятого пациента, но и всей страны в целом.

5. Мобильность и непрерывность обучения. Современные нанотехнологии помогают студентам сделать обучение максимально приближенным к реальности. Проводить онлайн-видеоконференции, телемосты, дискуссии. Профессорско-преподавательский состав может проводить консультации, консилиумы с участием обучающихся. В режиме реального времени они могут наблюдать за различными медицинскими манипуляциями и операциями, участвовать в научных проектах [3; 4].

В сфере непрерывного постдипломного медицинского образования очень удобно сдавать квалификационные тесты медицинским работникам, без отрыва от профессиональной деятельности.

И главное на сегодня: непрерывность образования в условия самоизоляции и карантина. По всему мировому пространству развилась пандемия COVID-19. В этих условиях студенты нашего медицинского университета Караганды совместно с профессорско-преподавательским составом успешно продолжают своё образование на дистанционном обучении [5].

Выполняя задания по дисциплине «Фармакология» на кафедре клинической фармакологии и доказательной медицины, по практическим занятиям, СРСП (самостоятельная работа студента под руководством преподавателя) и СРС (самостоятельная работа студента), студенты факультетов: общая медицина, фармация, сестринское дело, 1, 2 и 3 курсов, используют платформу Platonus, Moodle; слушают лекции на платформе Zoom; экзамены сдают на ресурсах Session.kgmu.kz, Turnitin.

Вместе с тем у дистанционного метода обучения имеется ряд недостатков.

Недостатки дистанционного образования

1. Разработка и подготовка качественных учебно-методических комплексов занимает огромное количество времени, финансовых затрат, технических IT-ресурсов. Необходимо наличие центра компьютерных технологий и высококлассных специалистов.

2. Уровень знаний студентов дистанционного образования все же ниже, чем у тех, кто учится очно. Это связано с отсутствием постоянного контроля над обучающимися.

Рассмотрим на примере (таблица) основных показателей результатов экзаменационной сессии специальности «Сестринское дело», 1 курс, дистанционная форма обучения за 2019–2020 учебный год и очная форма обучения за 2017–2018 учебный год на кафедре клинической фармакологии и доказательной медицины.

Студентов, получивших неудовлетворительные оценки, нет. Как мы видим, качественный показатель у студентов очной формы существенно выше, чем у обучающихся дистанционно.

3. Отсутствие практических навыков. Это огромный минус для студента-медика, в медицинском вузе веками складывалась традиция: тесный контакт с преподавателем, а затем и с пациентом. Мы не можем через компьютер научить измерять давление, провести перкуссию и аускультацию больного, провести осмотр пациента, делать инъекции и многое-многое другое…

4. Платный доступ ко многим базам данных. Не все могут позволить себе платить.

Сравнительный анализ результатов экзаменационной сессии

Курс	Учебный год	Всего студентов	Допущены к сессии	Средний балл	Качественный показатель, %	Относительная успеваемость, %
1	2017/2018, очная форма	10	10	3,0 (B)	90	100
2	2019/2020, дистанционная	40	40	2,22 (C)	67	100

Однако многие интернет-ресурсы (издательство Emerald, Clarivate Analytics, CABI Coronavirus collection, Oxford University Press – издательство Оксфордского университета, Teaching Online и Blended Learning, издательство Кембриджского университета – Cambridge University Press, SpringerNature, SAGE Publishing, UpTo Date) разрешили бесплатный вход на свои порталы. На время карантина! Что очень важно для студентов, преподавателей и учёных нашего медицинского университета Караганды в свете перехода на онлайн-обучение!

5. Студенты дистанционного обучения становятся пассивными потребителями знаний из-за того, что отсутствуют активные методы обучения.

6. Для идентификации личности студента необходимо его присутствие на экзамене очно.

7. Регулярное наличие компьютера и высокоскоростного Интернета.

8. Недостаточно развитая сеть интернет-коммуникаций в Республике Казахстан. Во многих регионах малоскоростной Интернет. Сеть может «виснуть». Особенно это ярко проявилось при переходе всей страны на дистанционное обучение, в силу введения чрезвычайной ситуации из-за коронавируса. Низкие возможности программных обучающих ресурсов, когда при вхождении большого количества участников они просто не открывались. Как показала практика, мы имеем пока недостаточно развитую систему Интернета.

Выводы

О преимуществах и недостатках метода дистанционного образования можно говорить много. Медицинское образование в большой степени будет оставаться традиционно очным обучением. Но в силу того что медицина становится все более высокотехнологичной отраслью, наш университет взял курс на развитие в направлении расширения дистанционного образования. Для того чтобы наша альма-матер медицины Караганды оставалась конкурентоспособным образовательным учреждением, в реализации и организации учебного процесса используются современнейшие нанотехнологии, применяются самые последние научные достижения как в медицине, так и в преподавательской деятельности.

Дистанционный метод образования позволяет сегодня создать систему непрерывного обучения, обмена информацией, иметь доступ к новейшим научным достижениям в медицине независимо от местонахождения человека. И, как показывает текущее состояние в мире, особенно находящегося в условиях самоизоляции и карантина из-за пандемии вируса COVID-19, когда все вузы Республики Казахстан перешли на систему дистанционного образования, в том числе и медицинские [5].

Наш медицинский университет делает только первые шаги в развитии дистанционного метода обучения в здравоохранении. И, мы думаем, что в этом прослеживаются большие перспективы в будущем. Доступность, качество, непрерывность в подготовке медицинских кадров и их повышение профессиональной квалификации – это то, что благодаря современным информационным и мультимедийным технологиям внедряется на базе нашего вуза и кафедры клинической фармакологии и доказательной медицины.

Список литературы

1. Правилами организации учебного процесса по дистанционным образовательным технологиям, утвержденными приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 137, зарегистрированный в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов за № 10768. [Электронный ресурс]. URL: http://adilet.zan.kz/rus (дата обращения: 22.04.2020).

2. Пугачев А. С. Дистанционное обучение – способ получения образования // Молодой ученый. 2012. № 8. С. 367–369.

3. Бажова Т.И. Медицинское образование: дистанционное обучение – миф или реальность? // Блог академия акупунктуры, 2 октября, 2019, acumed academy. [Электронный ресурс]. URL: https://blog-acumed.kz/medicinskoe-obrazovanie-distancionnoe-obuchenie-mif-ili-relnosti/ (дата обращения: 22.04.2020).

4. Алмагамбетова М. Возможности дистанционного обучения в медицинском образовании// Вестник КазНМУ. 2013. № 4. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-distantsionnogo-obucheniya-v-meditsinskom -obrazovanii/viewer (дата обращения: 22.04.2020).

5. Приказ Министра образования и науки Республики Казахстан от 8 апреля 2020 года № 135 О дополнительных мерах по обеспечению качества образования при переходе учебного процесса на дистанционные образовательные технологии на период пандемии коронавирусной инфекции COVID-19. [Электронный ресурс]. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=39442167#pos=2;-88 (дата обращения: 22.04.2020).

СТАТЬИ

УДК 631.811.98:633.491

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАРТОФЕЛЯ

Уромова И.П., Козлов А.В.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: uromova2012@yandex.ru

В полевых условиях изучали влияние биопрепаратов (Гуми-20, Лигногумат АМ, Фитоспорин-М) на продуктивность и качество картофеля разных групп спелости: сорт голландской селекции Ред Скарлетт (ранний (раннеспелый)) и сорт немецкой селекции Гала (среднеранний). Первую обработку данными биопрепаратами проводили перед посадкой, две последующих в фазу бутонизации с интервалом в 7 дней. Установлено, что препарат Гуми-20 способствует увеличению биометрических показателей изученных сортов культуры картофеля, таких как высота растений (на 12,3–14,7%), количество основных стеблей (на 10,4–14,8%), ассимиляционная поверхность листьев (на 14,7–23,1%) по сравнению с контролем в зависимости от сорта культуры. В результате обработки биопрепаратами увеличивается урожайность картофеля на 11,6–22,3%, содержание сухих веществ – на 9,1–11,8%, содержание крахмала – на 0,8–2,4% по сравнению с контролем в зависимости от сорта. На фоне применения Фитоспорина-М зафиксировано существенное снижение уровня распространенности (на 73,1–77,0%) и развития фитофтороза (на 62,0–79,7%) по сравнению с контролем в зависимости от сорта. Полученные результаты позволяют считать перспективным применение биопрепаратов Гуми-20 и Фитоспорин-М. Более существенное увеличение роста и продуктивности, по сравнению с контролем, отмечено при обработке немецкого сорта Гала биопрепаратом Гуми-20, а повышение устойчивости к фитофторозу обеспечивал биопрепарат с микробиологической активностью Фитоспорин-М в большей степени тот же сорт. Таким образом, применение биопрепаратов в картофелеводстве является необходимым агротехническим приемом, который необходимо использовать с учетом биологических особенностей сорта.

Ключевые слова: Гуми-20, Лигногумат АМ, Фитоспорин-М, биопрепараты, биометрические показатели, урожайность картофеля, крахмал, сухое вещество, фитофтороз

EFFECT OF BIOPREPARATIONS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF POTATOES

Uromova I.P., Kozlov A.V.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: uromova2012@yandex.ru

In the field, the influence of biopreparations (Gumi-20, Lignohumat AM, Phytosporin-M) on productivity and quality of potatoes of different ripeness groups was studied: the Dutch selection class Red Scarlett (early) and the German selection class Gala (early). The first treatment with these biopreparations was carried out before planting, two following into the butonization phase at 7 day intervals. The preparation Gumi-20 has been found to contribute to increase of biometric indices of studied varieties of potato culture, such as plant height (by 12.3-14.7%), number of main stems (by 10.4-14.8%), assimilation surface of leaves (by 14.7-23.1%) compared to control depending on the variety of culture. As a result of treatment with biopreparations, potato yield is increased by 11.6-22.3%, dry substances content – by 9.1-11.8%, starch content – by 0.8-2.4% compared to control depending on the variety. Against the background of Phytosporin-M use, there was a significant decrease in prevalence (73.1-77.0%) and development of phytophtoroze (62.0-79.7%) compared to control depending on the variety. The obtained results allow to consider promising application of biopreparations Gumi-20 and Phytosporin-M. A more significant increase in growth and productivity, compared to control, was observed in the treatment of the German Gala grade with a Gumi-20 biopreparation, and an increase in resistance to phytophtoroze provided a biopreparation with the microbiological activity of Phytosporin-M to a greater extent the same grade. Thus, the use of biopreparations in potato farming is a necessary agricultural technique that must be used taking into account the biological characteristics of the variety.

Keywords: Gumi-20, Lignohumate, Phytosporin M, biopreparation, biometric indicators, potato yield, starch, dry matter, phytophtoroze

В современной практике картофелеводства перспективным является применение биопрепаратов, способствующих повышению урожая и его качества [1–3].

Ряд исследователей считают [4; 5], что в настоящее время сорта картофеля способны обеспечивать более высокие урожаи, однако, как показывает опыт, средняя урожайность по Нечерноземной зоне до сих пор остается на уровне 11–12 т/га. Известно, что одним из факторов увеличения урожайности и улучшения товарного качества картофеля является сорт, который зачастую неодинаково реагирует на применение биопрепаратов [6]. Кроме того, различные сорта картофеля, обрабатываемые биологическими стимуляторами роста, имеют неодинаковую восприимчивость к одним и тем же возбудителям болезней и к вредителям. Однако на фоне использования биостимуляторов уровень устойчивости к неблагополучному фитосанитарно-

му фону местности, как правило, повышен, что в том числе определяет высокий выход продуктивной части урожая оптимального товарного качества.

Из всего вышесказанного следует, что без исследования биологических препаратов невозможно достичь высокой продуктивности сельскохозяйственных растений, так как их применение связано с активацией генетического потенциала культуры, что при определенных агроэкологических условиях соответствует физиологическим требованиям сорта.

Перспективными в этом направлении являются природные регуляторы роста: Фитоспорин-М, Гуми-20 и Лигногумат АМ. Фитоспорин-М – природный биофунгицид. В состав препарата входят спорообразующие бактерии рода *Bacillus subtillis 26D*, которые способны вырабатывать очень широкий спектр полезных веществ, в первую очередь подавляющих развитие патогенных микроорганизмов, в том числе опасных грибов, бактерий и вирусов.

К числу важных соединений, производимых *Bac. subtilis*, относятся и витамины и аналогичные им соединения, вещества гормонального типа, стимулирующие рост и развитие, а также компоненты, усиливающие естественный иммунитет растения. Исходя из данной трактовки, данный препарат можно использовать для формирования естественной защитной системы картофеля, которая необходима для повышения устойчивости к неблагоприятным факторам среды в течение вегетации.

Гуминовые препараты (Гуми-20, Лигногумат АМ) – это природные фитогормоны, содержащие гуминовые кислоты, витамины и микроэлементы, способствующие развитию подземной части и вегетативной массы растений.

Цель работы состоит в изучении влияния биопрепаратов на продуктивность и качество картофеля сортов зарубежной селекции. В соответствии с поставленной целью нами были определены следующие задачи:

1) изучить особенности изменения биометрических показателей под влиянием биопрепаратов;

2) выявить влияние биопрепаратов на урожайность картофеля;

3) изучить действие биопрепаратов на распространенность и степень развития фитофтороза на ботве картофеля в период вегетации.

Материалы и методы исследования

Полевой опыт проводили на учебно-опытном участке Агробиостанции НГПУ им. К. Минина в период 2018–2019 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая, легкосуглинистая с невысоким содержанием гумуса (1,7–1,9 %).

Закладку опыта проводили в последней декаде мая. Схема посадки 75х25 см, общая площадь делянки – 56 м^2, учетной – 28 м^2, повторность 3-кратная. Размещение вариантов – систематическое. В опыте использовали два сорта разных групп спелости: сорт голландской селекции *Ред Скарлетт* (ранний (раннеспелый)) и сорт немецкой селекции *Гала* (среднеранний).

Полевые опыты закладывали и обрабатывали в соответствии с установленной методикой [7]. Схема опыта: 1 вариант – контроль (без применения препаратов); 2 вариант – обработка клубней Гуми-20 (1,0 л/т) + некорневая обработка (2,0 л/га); 3 вариант – обработка клубней Лигногуматом АМ (100 г/т) + некорневая обработка (200 г/га); 4 вариант – обработка клубней Фитоспорином-М (25 мл/т) + некорневая обработка (50 мл/га).

За период вегетации опрыскивание биопрепаратами проводили двукратно в период бутонизации – начала цветения с интервалом в 7 дней. Расход воды из расчета на 1 га – 300 л. Уход за посадками картофеля включал в себя все обязательные мероприятия, установленные агротехникой выращивания культуры в Нечерноземной зоне.

Наблюдения за ростом, развитием (фенология, биометрические показатели) и за пораженностью сортов болезнями, а также последующий учет урожая, определение содержания крахмала и сухого вещества в клубнях проводили по общепринятым методикам [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Обработка клубней перед посадкой и вегетирующих растений биопрепаратами привела к стимуляции роста и развития растений и индукции формирования урожая. В частности, сроки наступления основных фенологических фаз определялись в большей степени погодными условиями. Всходы появились на 21–24-й день от посадки в зависимости от погодных условий. Проведенные фенологические наблюдения показали, что срок наступления фенофаз также зависел и от применения биопрепаратов. Так, на контроле всходы появились через 23 дня, а при обработке клубней перед посадкой биопрепаратами они появились на 2–3 дня раньше в зависимости от варианта опыта. За счет более ранних всходов последующие фенофазы также наступали раньше.

Результаты исследования показали, что используемые биопрепараты оказали положительное влияние на биометрические показатели исследуемых сортов (табл. 1). При этом достоверных различий по сортам обнаружено не было.

Наибольшая высота растений за годы исследований была отмечена на варианте с обработкой препаратом Гуми-20, она оказалась выше на 12,3–14,7% контрольных значений в зависимости от сорта. Меньше, чем на варианте с обработкой Гуми-20, данный показатель был отмечен на варианте с обработкой Фитоспорином-М – 7,1–10,0% в зависимости от сорта.

Наряду с увеличением высоты растений в опытных вариантах было отмечено и повышение числа основных стеблей. Наибольший эффект по увеличению количества стеблей показали препараты Гуми-20 (10,4–14,8%) и Фитоспорин-М (6,3–10,6%).

Надземная вегетативная масса растений является основой фототрофного питания, от которого зависит фотосинтетическая продуктивность растений картофеля, а в дальнейшем и формирование урожая [9; 10]. Потому одним из важных показателей роста и развития растений является ассимиляционная поверхность листьев. В частности, наименьшая величина ассимиляционной поверхности листьев в исследовании была отмечена в контрольном варианте (36,7–35,8 тыс. м^2/га) в зависимости от сорта. Максимальное значение показателя было зафиксировано на варианте с применением Гуми-20, минимальное – при применении Лигногумата АМ.

Фитопатологический учет показал, что проявления вирусных и бактериальных болезней обнаружено не было. Из грибных болезней, при визуальной оценке, был отмечен только фитофтороз (табл. 2).

При проведении учета фитосанитарного состояния посадок было зафиксировано, что наименьшая распространенность фитофтороза и его развитие на ботве отмечались на сорте Гала при применении Фитоспорина-М. При этом растения других вариантов поражались в большей степени по сравнению с контролем. На сорте Ред Скарлетт данные препараты в меньшей степени проявили свое защитное действие. В годы исследований показатели болезни отличались незначительно.

Таблица 1

Изменение биометрических показателей картофеля под влиянием биопрепаратов (фаза цветения)

Вариант	Сорт Ред Скарлетт			Сорт Гала		
	Высота стеблей, см	Число основных стеблей, шт./раст.	Ассимиляционная поверхность листьев, тыс. м^2/га	Высота стеблей, см	Число основных стеблей, шт./раст.	Ассимиляционная поверхность листьев, тыс. м^2/га
1. Контроль	42,1	4,8	36,7	42,8	4,7	35,8
2. Гуми-20	47,3	5,3	42,1	49,1	5,4	44,1
3. Лигногумат АМ	44,7	5,0	38,4	44,8	5,0	37,9
4. Фитоспорин-М	45,1	5,1	40,9	47,1	5,2	41,9
$НСР_{05}$	*0,2*	*0,1*	*0,2*	*0,2*	*0,2*	*0,3*
$НСР_{05}$ сорт	*2,7*	*0,1*	*1,9*	–	–	–

Таблица 2

Распространенность и развитие фитофтороза на ботве картофеля под влиянием биопрепаратов (в среднем за 2018–2019 гг.)

Вариант	Сорт Ред Скарлетт		Сорт Гала	
	распространенность,%	развитие, %	распространенность,%	развитие,%
1. Контроль	7,8	5,0	6,5	5,9
2. Гуми-20	4,1	3,3	3,7	3,4
3. Лигногумат АМ	6,9	5,0	5,6	4,8
4. Фитоспорин-М	2,1	1,9	1,5	1,2
$НСР_{05}$	*0,2*	*0,1*	*0,1*	*0,1*
$НСР_{05}$ сорт	*0,2*	*0,17*	–	–

Таблица 3

Изменение урожайности и показателей качества клубней картофеля под действием биопрепаратов (в среднем за 2018–2019 гг.)

Вариант	Сорт Ред Скарлетт			Сорт Гала		
	урожайность, т/га	сухое вещество,%	крахмал,%	урожайность, т/га	сухое вещество,%	крахмал,%
1. Контроль	22,5	20,8	12,0	22,8	21,1	12,3
2. Гуми-20	26,1	22,7	12,1	27,9	23,6	12,6
3. Лигногумат АМ	24,1	21,7	11,7	25,0	21,7	12,1
4. Фитоспорин-М	25,7	22,0	12,2	26,5	23,0	12,4
$НСР_{05}$	*1,3*	*0,1*	*0,1*	*2,1*	*0,1*	*0,1*
$НСР_{05}$ сорт	*1,5*	*0,3*	*0,08*	–	–	–

Важно отметить и тот факт, что в период проведения опытов степень развития фитофтороза была невысокой, так как опытный участок находится на высоком берегу р. Ветлуга в окружении хвойного леса. Также необходимо отметить, что в целом активность фитофтороза в большей степени зависела от применения стимуляторов роста и в меньшей – от сортовых особенностей.

Защитный эффект препаратов заключается в том, что они направлены на стимулирование естественной иммунной системы [11; 12], что в дальнейшем усиливает устойчивость к разного рода фитопатогенам [13; 14]. Анализ данных по влиянию биопрепаратов на урожайность картофеля показывает, что все препараты способствовали увеличению урожайности (табл. 3).

Наиболее эффективным оказался препарат Гуми-20, на варианте с которым прибавка по сравнению с контролем составила 22,4% на сорте Гала. Меньшая, но также достоверная, прибавка была получена и у сорта Ред Скарлетт. Препараты Лигногумат АМ и Фитоспорин-М были менее эффективны.

Анализ качества полученной продукции показал тенденцию незначительного повышения сухого вещества и крахмала при применении биопрепаратов на обоих сортах. По сравнению с контролем применение препарата Гуми-20 способствовало наибольшему увеличению содержания сухого вещества (на 11,8%) и крахмала (на 2,4%) в клубнях на сорте Гала.

На сорте же Ред Скарлетт данный препарат в меньшей степени способствовал повышению биохимических показателей (на 9,1% и на 0,8% соответственно). Данные анализов свидетельствуют о незначительных различиях в уровне качественных показателей по годам исследований, что подтверждается данными других исследователей [9; 10; 15].

Выводы

Установлено, что препарат Гуми-20 способствует увеличению биометрических показателей некоторых сортов культуры картофеля, таких как высота растений (на 12,3–14,7%), количество основных стеблей (на 10,4–14,8%), ассимиляционная поверхность листьев (на 14,7–23,1%) по сравнению с контролем в зависимости от сорта культуры.

В результате обработки биопрепаратами увеличивается урожайность картофеля на 11,6–22,3%, содержание сухих веществ – на 9,1–11,8%, содержание крахмала – на 0,8–2,4% по сравнению с контролем в зависимости от сорта.

На фоне применения Фитоспорина-М зафиксировано существенное снижение уровня распространенности (на 73,1–77,0%) и развития фитофтороза (на 62,0–79,7%) по сравнению с контролем в зависимости от сорта.

При анализе биологической эффективности растений можно сделать предварительный вывод о неодинаковой ответной реакции исследуемых сортов на применение данных препаратов. Существенное и достоверное увеличение продуктивности показал сорт Гала немецкой селекции при обработке его препаратом Гуми-20, а повышение устойчивости к фитофторозу обеспечивает препарат Фитоспорин-М на том же сорте. Таким образом, в картофелеводстве применение биопрепаратов с учетом сортовых особенностей – перспективный прием, позволяющий повысить продуктивность и качество картофеля.

Список литературы

1. Засорина Э.В., Родионов К.Л., Катунин К.С. Реакция сортов картофеля на применение регуляторов роста в Центральном Черноземье // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. Вып. 5. С. 50–51.

2. Уромова И.П. Повышение биопотенциала картофеля с использованием биопрепаратов // Плодородие. 2008. № 3 (42). С. 28–29.

3. Хохоева Н.Т., Тедеева А.А., Тедеева В.В. Роль биопрепаратов в повышении продуктивности чины посевной // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 8. С. 105–108.

4. Бондаренко А.Н. Влияние микробиологических препаратов на полевую всхожесть и накопление надземной биомассы яровых зерновых культур // Известия Горского государственного аграрного университета. 2019. Т. 56. № 3. С. 37–41.

5. Анисимов Б.В., Юрлова С.М. Сортообновление – важнейший фактор повышения эффективности репродукционного семеноводства картофеля в регионах РФ // Картофелеводство в регионах России: Актуальные проблемы науки и практик. М.: Россельхозакадемия, РЦСК. 2006. С. 18–25.

6. Уромова И.П. Агробиологическое и экологическое обоснование приемов возделывания картофеля, полученного методом апикальной меристемы, в условиях Волго-Вятского региона: дис. …докт. с.-х. наук. Брянск, 2009. 330 с.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.

8. Андрюшин Н.А., Бацанов Н.С. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 263 с.

9. Козлов А.В., Овезов В.Р., Тарасов И.А. Влияние полного минерального удобрения, крезацина и кремниевых агроруд на биопродуктивность и структуру урожая озимой пшеницы Московская 39 // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 70–73.

10. Тайчибеков А.У., Ержанов К.Б., Абдраков Б.К., Бейсембаев М.К., Ералиев С.С. Эффективность стимулятора роста растений КН-2 (акпинол-альфа) на урожай и сахаристость сахарной свеклы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 12–2. С. 298–302.

11. Уромова И.П., Грибановская Т.В. Влияние брассиностероидов на продуктивность микрорастений картофеля в защищенном грунте // Вестник Мининского университета. 2015. № 12 (10). С. 24.

12. Черемисин А.И., Якимова И.А. Влияние стимуляторов роста и биофунгицидов на продуктивность микрорастений картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 3. С. 26–28.

13. Доброхотов С.А., Анисимов А.И., Гришечкина С.Д., Данилов Л.Г., Леднев Г.Р., Фурсов К.Н. Эффективность микробиологических препаратов против основных вредителей овощных, ягодных культур и картофеля в Ленинградской области // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 694–704.

14. Козлов А.В. Экологическая оценка влияния диатомита на фитоценоз и состояние почвенно-биотического комплекса светло-серой лесной легкосуглинистой почвы: автореф. дис. …канд. биол. наук. Москва, 2013. 24 с.

15. Котиков М.В. Особенности защиты от фитофтороза различных сортов картофеля // Защита и карантин растений. 2011. № 5. С. 27–28.

СТАТЬИ

УДК 539.4+539.3

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

Айдаралиев Ж.К., Абдиев М.С., Исманов Ю.Х.

Киргизский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы создания композитов, использующих в качестве арматуры длинные, непрерывные по всей длине конструкции и короткие базальтовые волокна, и на их основе многослойных композиционных материалов. Рассмотрено математическое описание прочностных свойств многослойных композиционных материалов, созданных на основе слоев композитов, использующих в качестве арматуры длинные, непрерывные по всей длине конструкции и короткие базальтовые волокна. Результаты теоретических исследований показали, что многослойный композиционный материал имеет улучшенные свойства. Первый слой материала, представляющий собой слой арматуры из непрерывных волокон, обеспечивает прочность на растяжение и изгиб. Второй слой композиционного материала обеспечивает теплоизоляционные свойства и прочность на сжатие и деформацию. Этот слой состоит из композита, арматура которого представляет собой короткие волокна. С целью подтверждения теоретических результатов были проведены работы по созданию композитов на основе длинных и коротких базальтовых волокон. Для получения рубленого короткого волокна была разработана экспериментальная установка. Получен многослойный композиционный материал с улучшенными свойствами на основе длинных и коротких базальтовых волокон. Композитная плита армировалась сеткой, собранной из непрерывных базальтовых волокон.

Ключевые слова: композит, непрерывная фаза, дискретная фаза, рубленое короткое базальтовое волокно, длинное непрерывное базальтовое волокно, многослойный композит

OBTAINING A LAYERED COMPOSITE BASED ON BASALT FIBERS

Aydaraliev Zh.K., Abdiev M.S., Ismanov Yu.Kh.

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

The article considers the issues of creating composites using long, continuous structures along the entire length of the structure, and short basalt fibers, and, based on them, multilayer composite materials as reinforcement. A mathematical description of the strength properties of multilayer composite materials based on layers of composites using long, continuous along the entire length of the structure, and short basalt fibers as a reinforcement is considered. The results of theoretical studies showed that the multilayer composite material has improved properties. The first layer of material, which is a layer of reinforcement made of continuous fibers, provides tensile and bending strength. The second layer of composite material provides thermal insulation properties and compressive and deformation strength. This layer consists of a composite whose reinforcement is short fibers. In order to confirm the theoretical results, work was carried out to create composites based on long and short basalt fibers. An experimental setup was developed to produce chopped short fiber. A multilayer composite material with improved properties based on long and short basalt fibers is obtained. The composite slab was reinforced with a mesh assembled from continuous basalt fibers.

Keywords: composite, continuous phase, discrete phase, chopped short basalt fiber, long continuous basalt fiber, multilayer composite

Композит – материал, состоящий по меньшей мере из двух компонентов, отделенных друг от друга [1–3]. Сочетая различные составляющие компоненты, можно получить композиционный материал, имеющий свойства, кардинально отличающиеся от свойств каждой из составляющих компонент по отдельности [4–6].

Обобщенный состав композиционного материала можно описать следующим образом [7–9]:

– матрица, которую можно рассматривать как непрерывную фазу (связующий компонент);

– наполнитель представляет собой дискретную фазу (армирующий компонент);

– межфазная граница (между ними протекают следующие физико-химические взаимодействия: адсорбция, десорбция, диффузия и др.) [10–12].

Среди основных типов композитов можно выделить важный класс композиционных материалов, имеющих широкое практическое применение, – многослойные композиты, представляющие собой набор соединенных между собой композитных слоев, одна часть которых армирована длинными и непрерывными волокнами, другая часть короткими минеральными волокнами.

Целью работы являются исследование и разработка метода производства слоистых композиционных систем, армированных

как длинными и непрерывными, так и короткими базальтовыми волокнами.

Материалы и методы исследования

При создании композиционного материала важную роль играют такие важные характеристики наполнителя в матрице, как его концентрация, размер, форма, распределение и ориентация (рис. 1).

С учетом указанных характеристик наполнителя в матрице, можно получить следующие виды композиционных материалов (рис. 2).

Рассмотрим математическое описание многослойного композита.

Если обозначить исследуемую физическую величину композиционного материала как у и предположить, что она зависит от переменных $x_1, x_2,...$, которые подчиняются требованию линейной аддитивности, указанную физическую величину можно представить в виде:

$$y = c_1x_1 + c_2x_2 + ..., \qquad (1)$$

где $x_1, x_2,...$ – объемное содержание исходных компонентов композита, $c_1, c_2,...$ – физические характеристики исходных составляющих компонентов композита.

При определении расчетным путем плотности, модуля упругости, предела прочности и других параметров композиционного материала будем пользоваться свойством линейной аддитивности.

Согласно формуле (1) предел прочности композиционного материала, который армирован длинными волокнами (нк), можно представить в виде:

$$\sigma_{нк} = \sigma_{нв}V_{нв} + \sigma_{м1}(1 - V_{нв}), \qquad (2)$$

где $\sigma_{нк}$ – прочность композиционного материала, который армирован длинными волокнами, $\sigma_{нв}$ – прочность непрерывного волокна, $V_{нв}$ – объем непрерывного волокна в композите, $\sigma_{м1}$ – прочность связующего компонента (матрицы).

Композиционные материалы, которые армированы базальтовыми короткими волокнами, при деформации ведут себя не так, как композиционные материалы, которые армированы волокнами большой длины [13]. Если длины волокон l незначительно превосходят так называемое критическое значение длины волокна $l_{кр}$, то это отличие особенно заметно. В случае приложения нагрузки, достигающей величины разрыва, к композиционному материалу величина силы натяжения на торцах армирующих волокон, имеющих конечную длину, меньше, чем наибольшие значения силы натяжения в длинных волокнах, используемых для армирования. Для недлинных волокон характерно то, что силы натяжения вдоль волокна изменяются. Силы натяжения на концах стремятся к нулю и имеют наибольшее значение на среднем участке, называемом эффективным участком.

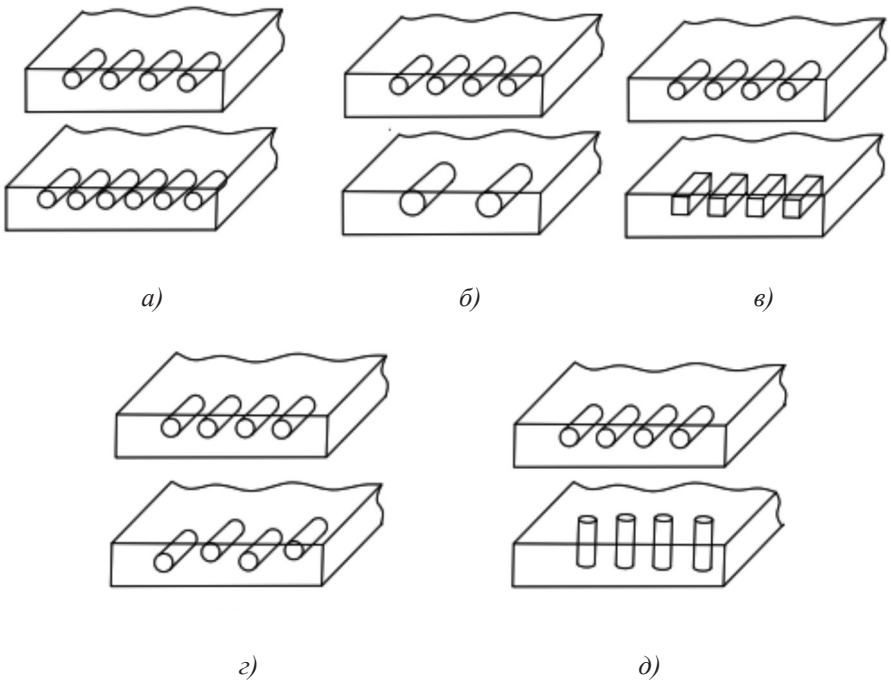


Рис. 1. Наполнитель в матрице: а – концентрация наполнителя; б – размер наполнителя; в – форма наполнителя; г – распределение наполнителя; д – ориентация наполнителя

Объяснить это можно тем, что силы натяжения направлены по касательной вдоль границы взаимодействия волокна матрицы. Критического значения длина волокна достигает, если ее деформация становится достаточно высокой. Уменьшение длины волокна приводит к тому, что волокно перестает деформироваться, а просто вытягивается из матричного слоя. Участки волокна, где силы натяжения падают от значения $\sigma_{кв.max}$ до нулевого, являются неэффективными. Длина этих участков равна $l_{кр}/2$ (рис. 3).

Зададим характеристику $\beta = S_{кр.}/\sigma_{кв.max}$. Здесь $S_{кр.}$ – площадь под кривой распределения сил натяжения на длине $l_{кр}/2$ волокна. В этом случае среднее значение сил натяжения $\sigma_{кв.ср.}$ для короткого волокна равно:

$$\sigma_{кв.ср.} = \sigma_{кв.}[1 - (1 - \beta)l_{кр}/l]. \quad (4)$$

Таким образом, максимальное значение прочности композиционного материала, который армирован недлинными волокнами, определяется соотношением:

$$\sigma_{кв.} = [1 - (1 - \beta)l_{кр}/l]\sigma_{кв.}V_{кв.} + \sigma_{м2}V_{м2}. \quad (5)$$

Многослойный композиционный материал, представляющий собой объединение композитов, созданных на основе длинных непрерывных и коротких волокон, работает как единая система. Первый слой композита, созданного на основе непрерывных волокон, работает на растяжение и изгиб, второй слой, созданный на основе коротких волокон, определяет прочностные характеристики при сжатии и деформации. Таким образом, учет их совместного действия приводит к следующему соотношению, определяющему свойства многослойного композита:

$$\sigma_{сл.к.} = \sigma_{нв}V_{нв} + \sigma_{м1}(1 - V_{нв}) +$$

$$+ [1 - (1 - \beta)l_{кр}/l]\sigma_{кв.}V_{кв.} + \sigma_{м2}V_{м2}, \quad (6)$$

где $\sigma_{сл.к.}$ – максимальное значение прочности многослойного композита; $\sigma_{нв}$ – прочность длинного непрерывного волокна; $V_{нв}$ – объем длинного непрерывного волокна; $\sigma_{м1}$ – прочность связующего материала первой матрицы; $\sigma_{кв.}$ – прочность короткого волокна; $\sigma_{м2}$ – прочность связующего материала второй матрицы; $V_{кв.}$ – объем короткого волокна в композите; $V_{м2}$ – объем связующего материала второй матрицы.

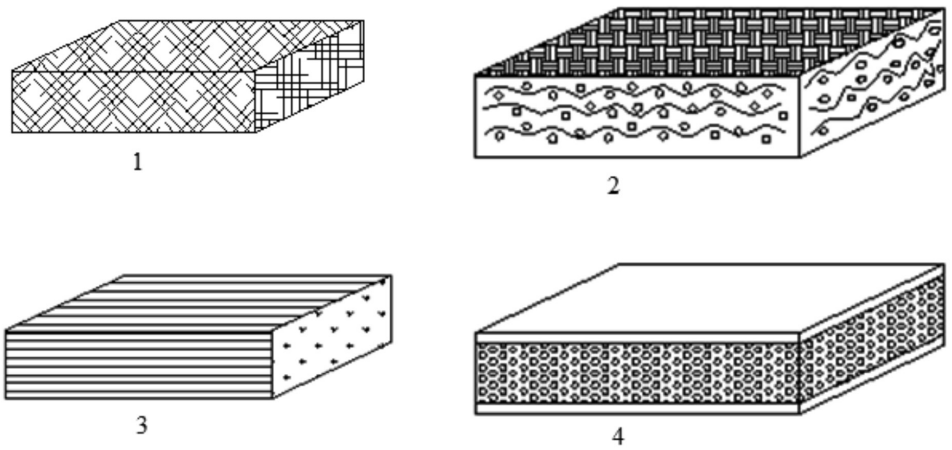


Рис. 2. Армированные композиционные материалы: 1 – короткими волокнами; 2 – длинными непрерывными волокнами; 3 – волокнами во многих направлениях; 4 – многослойный композит на основе непрерывных и коротких волокон

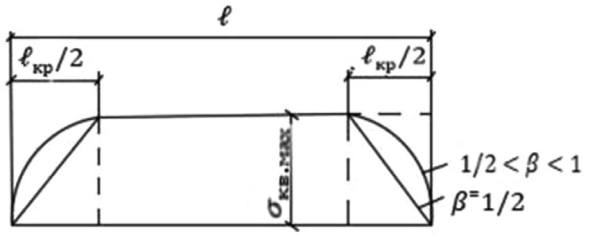


Рис. 3. Эффективные и неэффективные участки длины коротких волокон в композите

Данный композиционный материал имеет улучшенные свойства, обеспечивающие его прочность по отношению к внешней нагрузке любого направления.

При создании слоистого композита в качестве первого компонента была использована теплоизоляционная плита, которая была армирована кусками базальтового волокна. Для производства таких плит была разработана установка для получения кусков из базальтового волокна и дальнейшего равномерного распределения этих кусков в композитной плите (рис. 4). Контроль процесса осуществлялся интерферометрическими методами [14, 15].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотренная выше установка обеспечивала однородное распределение рубленых базальтовых волокон в матрицах с органическим связующим наполнителем. Получаемая композитная плита имела следующие физико-технические характеристики, указанные в табл. 1.

Физико-технические показатели указывают, что данный композит обеспечивает достаточные прочностные характеристики, в том числе характеристику прочности связи слоев. Также обеспечивает теплоизоляцию, так как имеет минимальный коэффициент теплопроводности, удовлетворяющий стандартам теплоизоляционных материалов. Были также проведены исследования деформационных свойств композитной системы на основе рубленого дискретного волокна. График деформации базальтовой плиты приведен на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что при воздействии внешних нагрузок в композите деформация не настолько велика, чтобы разрушать форму композитной плиты.

С целью усиления прочности и устойчивости базальтовых плит на основе рубленого короткого волокна и обеспечения крепления при монтаже была использована базальтовая сетка, полученная на основе базальтового непрерывного волокна. Физико-технические характеристики базальтовой сетки приведены в табл. 2.

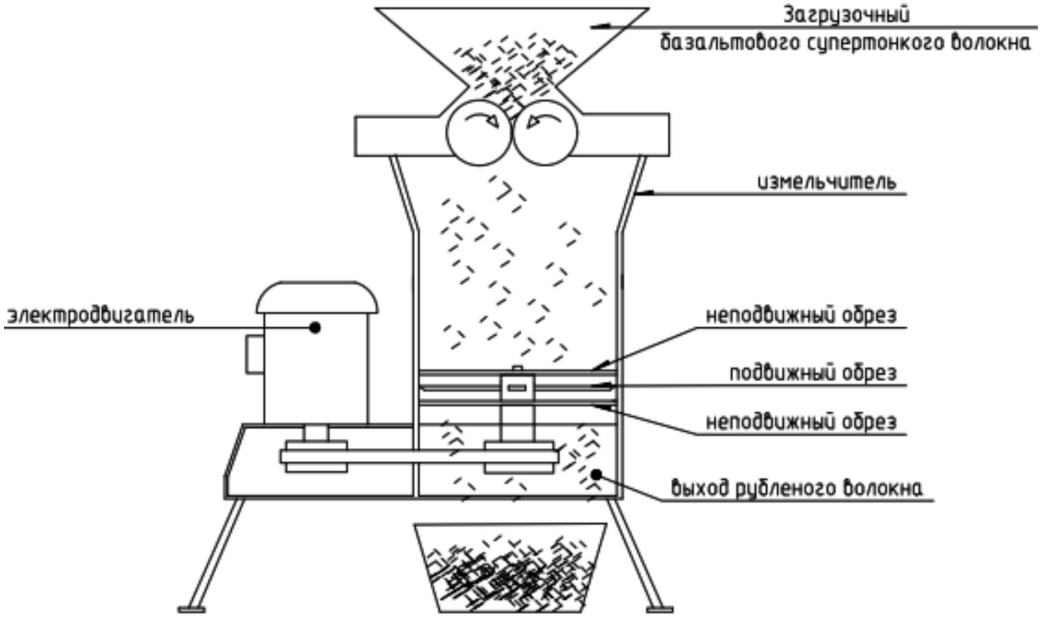


Рис. 4. Установка для получения рубленого базальтового волокна

Таблица 1

Физико-механические характеристики плиты на основе рубленых коротких волокон

№ п/п	Характеристики	Значение
1	Теплопроводность, Вт/мК	0,048
3	Прочностные характеристики при сжатии для значений деформации в 10%, МПа (кгс/см^2)	0,06
4	Адсорбция воды, %	1
5	Характеристика прочности связи слоев, кН/м^2	7

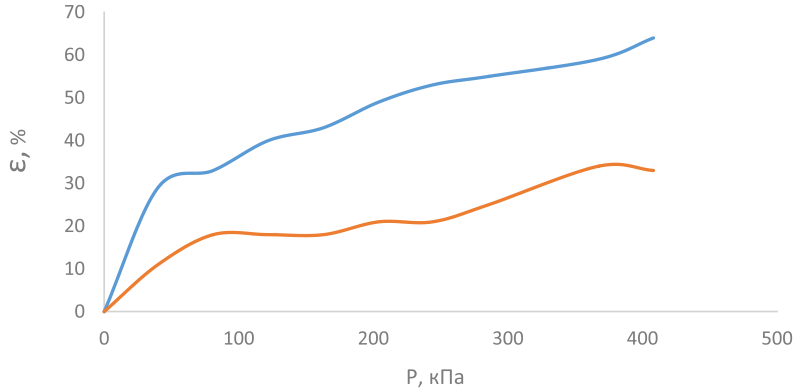


Рис. 5. Полная (штриховая линия) и остаточная (сплошная линия) деформации в зависимости от величины внешнего нагружения

Таблица 2

Физико-технические характеристики базальтовой сетки

№ п/п	Наименование	Величина
1	Разрывная нагрузка	60 кН/м
2	Размер рулона	1×50 м
3	Ячейка	25×25 мм
4	Относительное удлинение, не более	4%

Сетка из базальтовых волокон обладает сравнительно с другими видами сеточных материалов следующими важными преимуществами:

– сетка не коррозируется в нейтральной и агрессивной химической среде;

– значение коэффициента теплопроводности базальтовой сетки в несколько раз ниже, чем металлической;

– обладает малой плотностью и большей прочностью;

– себестоимость ниже, чем у аналогичных материалов.

На основе вышеуказанных компонентов был получен многослойный композит, армированный базальтовой сеткой.

Выводы

1. Теоретически обоснована возможность получения слоистого композиционного материала с улучшенными физико-механическими свойствами.

2. Проведено исследование прочностных и деформационных свойств компонентов слоистого композиционного материала, армированных соответственно длинными непрерывными и короткими базальтовыми волокнами.

3. На основе вышеуказанных компонентов был получен слоистый композит, армированный базальтовой сеткой.

Список литературы

1. Пащенко А.А., Сербин В.П., Паславская А.П., Глуховский В.В., Бирюкович Ю.Л., Солодовник А.Б., Пащенко А.А., Гаша Х., Гросс Р., Грухман Д., Хартман Р., Кеттенхаймер Б., Ландт А., Мейер Г., Саттрасаи М., Ванка Т., Бем Ю.О. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. М.: Стройиздат, 1988. 200 с.

2. Ормонбеков Т.О. Прикладные методы расчета конструкции из композиционных материалов. Бишкек: Илим, 1986. 39 с.

3. Колпаков А.Г., Ракин С.И. Деформационные характеристики слоистых композитов при нелинейных деформациях // Прикладная механика и техническая физика. 2010. Т. 45. № 5. С. 157–166.

4. Кукужданов К.В. Исследование дисперсии упругих волн в композитах на основе двухскоростной модели // Проблемы прочности и пластичности. 2011. Вып. 62. С. 111–118.

5. Трыков Ю.П., Гуревич А.М., Шморгун В.Г. Комплексные технологии получения слоистых композиционных материалов многоцелевого назначения // Автоматическая сварка. 2009. № 11. С. 82–86.

6. Олейников А.И. Оценка жесткости и прочности слоистых композитов // Композиты и наноструктуры. 2017. Т. 9. № 2. С. 77–79.

7. Лурье С.А., Соляев Ю.О., Андрюнина М.А., Лыкова Е.Д. Оптимизация демпирующих характеристик слоистых композитных материалов, содержащих волокна с вязкоупругим покрытием // Вестник ПНИНГУ. 2012. № 3. С. 98–119.

8. Татаринцева О.С., Углова Т.К., Игонин Г.С. и др. Определение сроков эксплуатации базальтоволокнистых теплоизоляционных материалов // Строительные материалы. 2014. № 11. С. 14–15.

9. Веллис С.А., Каминскас А.Л. и др. Теплопроводность влажных стекловолокнистых и минераловатных плит // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 38–40.

10. Асланова М.С., Мясников А.А. Влияние химического состава базальтового волокна на его кислотоустойчивость // Стекло и керамика. 2014. № 5. С. 18–22.

11. Айдаралиев Ж.К., Кайназаров А.Т., Исманов Ю.Х., Абдиев М.С., Атырова Р.С., Сопубеков Н.А. Супертонкие волокна на основе алевролита и базальта, добываемых в Кыргызстане // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 5. С. 109–114. DOI: 10.17513/mjpfi.12748.

12. Айдаралиев Ж.К., Исманов Ю.Х., Кайназаров А.Т., Абдиев М.С. Определение оптимального состава материала для изготовления базальтоволокнистых композиционных плит // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3–2. С. 115–119. DOI 10.17513/snt.37450.

13. Айдаралиев Ж.К., Кайназаров А.Т., Абдиев М.С., Сопубеков Н.А. Разработка технологии получения гипсобазальтовых композитов // Вестник КРСУ. 2019. Т. 19. № 8. С. 103–106.

14. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесщелевой радужной голографии // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2015. № 4 (40). С. 194–198.

15. Исманов Ю.Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. 2015. № 2. С. 20–23.

УДК 004.89

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Денисенко А.А.

ЧП Денисенко, Ирпень, e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com

В работе рассмотрена технология создания системы распознавания символов (с применением сверточных нейронных сетей) на изображении, а именно символов номерного знака автомобиля. На сегодня существует множество подходов к решению этой проблемы, причем большинство из них неэффективны для изображений, символы которых расположены на сложном фоне и подвержены шумовым, аффинным и проекционным искажениям. Предлагаемая в статье методика состоит из следующих этапов: предварительная обработка изображения, сегментация текста и распознавание, которое осуществляется сверточными нейронными сетями. В ходе исследования был проведен ряд экспериментов, а именно: эксперимент по определению наиболее подходящего метода бинаризации изображений, эксперимент по определению оптимальной топологии нейронной сети, для задачи распознавания символов на изображении. Методика, представленная в данной статье применительно к задаче распознавания автомобильных номеров, в результате проведенных экспериментов демонстрирует высокую надежность и точность – около 81 %, в том числе в условиях слабого освещения, именно поэтому разработанный метод распознавания может быть рекомендован для использования в коммерческих целях. Также в статье предложены возможные варианты улучшения данной методики.

Ключевые слова: машинное обучение, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, автоматическое распознавание номеров, обработка изображений, бинаризация, сегментация

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TEXT RECOGNITION SYSTEM

Denisenko A.A.

PE Denysenko, Irpin, e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com

The paper discusses the technology of creating character recognition (using convolutional neural networks) systems on the image. These days, there are many approaches to solving this problem, and most of them are ineffective for images whose symbols are located on a complex background and are vulnerable to noise, affine and projection distortions. The proposed technique consists of the following stages: image pre-processing, text segmentation, and recognition by convolutional neural networks. During research was conducted a series of experiments, namely: experiment to select the most suitable method of binarization of digital images, experiment to select the most efficient convolutional neural network topology form text recognition problem. As a result of the experiments performed, this technique as applied to the recognition of car numbers demonstrates high reliability and accuracy, including in low light conditions, therefore, the developed recognition method can be recommended for commercial use. As an additional field of experiments was suggested a bunch of approaches of how to improve this technique.

Keywords: machine learning, deep learning, convolutional neural networks, automatic number-plate recognition, image processing, binarization, segmentation

Современные методы распознавания символов текста позволяют решать ряд научных, а также прикладных задач, таких как восстановление документов, публикация текста на веб-странице, оцифровка книг, автоматизация систем учета в бизнесе, определение номера банковской карты. Поскольку ряд характеристик текстовых данных имеет свойство меняться (информация может быть нанесена на изображения вручную или с использованием разных шрифтов; символы могут содержать цифровые дефекты или отображаться на изображениях частично; сами изображения могут иметь сложную фоновую структуру), методы, положенные в основу программных систем, должны обеспечивать высокую точность и быстродействие, при этом оставаясь эффективными в естественных условиях.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка систем распознавания символов с большой нагрузкой, которые ориентированы на распознавание коротких текстов, не имеющих строгого стандарта, например американских автомобильных номеров. Разработка программной системы сопряжена с рядом проблем:

1. Освещение: из-за воздействия окружающей среды (свет фар, дождь и т.д.) освещение входного изображения меняется.

2. Сложный фон: фон номерных пластин может содержать рисунки со сложными объектами, которые трудно отделимы от символов, находящихся на переднем плане.

3. Расположение региона (штата): расположение идентификатора в номерных знаках США варьируется от штата к штату. Это затрудняет обобщение методов, лежащих в основе системы распознавания, и требует больших вычислений.

4. Наличие контуров, теней, нежелательных символов и т.д.

Этап предобработки изображения, содержащего автомобильный номер, включа-

ет в себя коррекцию изображения (удаление шумов с фона номерной пластины, устранение неравномерного распределения яркости и эффектов потери фокуса) и устранение избыточной информации. Этап предварительной обработки является не менее важным, чем все последующие, – от его успеха зависит качество сегментации изображения. Предлагаемый в работе метод использует анизотропную диффузию и эквализацию гистограммы изображения.

Поскольку изображения могут иметь ряд многочисленных особенностей из-за специфики окружающей среды, рассмотрение одного метода бинаризации неэффективно. Для лучшей сегментации символов предлагается провести бинаризацию гибридным методом [1]: к входному изображению применить пять методов бинаризации, среди которых выбрать лучший в зависимости от качества получаемого результата.

Материалы и методы исследования

Глобальный метод выбирает пороговое значение для классификации пикселя изображения – фон или передний план [2]. Пороговое значение основано на требуемом проценте фоновых пикселей и рассчитывается для части изображения, содержащей необходимую текстовую информацию.

Метод Саувола [3] относится к методам локальной адаптивной бинаризации – он вычисляет индивидуальный порог бинаризации $T(x, y)$ для каждого пикселя (x, y):

$$T(x,y) = m(x,y)\,[1 + k\left(\frac{\sigma(x,y)}{R-1}\right), \quad (1)$$

где $m(x, y)$ – среднее значение,
$\sigma(x, y)$ – среднеквадратическое отклонение в точке (x, y),
R – максимальное отклонение ($R = 128$ для оттенков серого),
k – смещение, которое принимает положительные значения в диапазоне [0,2; 0,5].

Алгоритм Оцу [2] позволяет минимизировать среднюю ошибку сегментации, возникающую при принятии решения о принадлежности пикселя фону или объекту изображения:

1. Вычислить сумму $P_i(k)$ для $k = 0, 1, 2,\ldots, L - 1$ по формуле

$$P(k) = \sum_{i=0}^{k} p_i, \quad (2)$$

где p_i – компоненты нормализованной гистограммы для $i = 0, 1, 2,..., L - 1$,
L – максимальное значение шкалы оттенков серого.

2. Вычислить средние значения $m(k)$ для $k = 0, 1, 2,\ldots, L - 1$ по формуле

$$m(k) = \sum_{i=0}^{k} i \times p_i. \quad (3)$$

3. Вычислить общую яркость m_G по формуле

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} i \times p_i. \quad (4)$$

4. Вычислить межклассовую дисперсию $\sigma_b^2(k)$ для $k = 0, 1, 2,\ldots, L - 1$ по формуле

$$\sigma_b^2 = \frac{[m_G \times P_1(k) - m(k)]^2}{(P_1(k)[1 - P_1(k)])}. \quad (5)$$

5. Найти порог Оцу как значение, для которого $\sigma_b^2(k)$ максимальна.

Часто используемым в задачах компьютерного зрения является алгоритм Кэнни обнаружения границ [2]:

1. Применить к входному изображению фильтр Гаусса для удаления шума.

2. Найти градиенты яркости, применяя матрицы свертки к каждому пикселю изображения:

$$G_x(i,j) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$G_y(i,j) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix},$$

где (i, j) – координаты пикселя в исходном изображении.

3. Вычислить значение градиента G и угол направления вектора градиента θ, используя соответствующие формулы:

$$G(i,j) = \sqrt{G_x^{\,2}(i,j) + G_y^{\,2}(i,j)}, \quad (6)$$

$$\theta(i,j) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y(i,j)}{G_x(i,j)}\right). \quad (7)$$

4. Отметить как границы только локальные максимумы.

5. Определить итоговые границы путем удаления всех «слабых» границ.

Полученное в результате работы алгоритма Кэнни изображение делится на области, которые используются для вычисления локального порога. Пороговое значение для каждого блока находится при помощи шка-

лы оттенков серого исходного изображения и соседних для всех граничных пикселей, затем полученные бинарные блоки объединяются для создания целого двоичного изображения.

Медианный стекинг представляет собой технологию наложения изображений с целью уменьшения шума, при которой значение яркости каждого пикселя вычисляется путем нахождения медианного значения его яркости из набора изображений. В настоящей работе для медианного стекинга предлагается использовать бинаризованные изображения, полученные после применения вышеприведенных алгоритмов.

На рис. 2 представлены изображения (1–5), которые были получены в результате применения пяти выбранных методов бинаризации к некоторому входному изображению (рис. 1). Изображение номерной пластины, бинаризованное при помощи обнаружения границ, содержит меньшее количество так называемых артефактов – отношение пикселей переднего края к фоновым пикселям является максимальным. Таким образом, для данного входного изображения бинаризация на основе обнаружения границ выбирается как лучший среди имеющихся методов бинаризации.

Рис. 1. Входное изображение номерной пластины

Предположив, что идентификатор региона расположен в верхней части номерного знака, легко осуществить поиск и извлечение названия штата и государственного номера при помощи метода горизонтальной проекции. Сегментация с использованием проекционных профилей [4] использует тот факт, что в бинарном изображении пиксели переднего плана принимают одни и те же значения, противоположные фоновым пикселям. Локальные минимумы горизонтального профиля проекции соответствуют фоновым пикселям. Горизонтальный профиль $H(y)$ находит сумму яркостей всех пикселей изображения $I[x, y]$ размерности $M \times N$, где x, y – координаты пикселя:

$$H(y) = \sum_{x} I[x, y]. \qquad (8)$$

Вертикальный профиль проекции $V(x)$ способен справляться с поворотами символов [4]. Он помогает в поиске координат предполагаемых частей номерного знака:

$$V(x) = \sum_{y} I[x, y]. \qquad (9)$$

Рис. 2. Бинаризованные различными методами номерные пластины

Для того, чтобы уменьшить использование памяти и выполнить суммирование с минимальными временными затратами, перед подсчетом горизонтальных и вертикальных проекционных значений входное изображение при помощи морфологических операций преобразуется в более компактную версию под названием «скелет» [6]. Скелет государственного номера номерной пластины из рис. 1 сохраняет структуру всех его объектов, но удаляет лишние пиксели, как показано на рис. 3. Извлеченное название штата («Texas»), которое находится в верхней части номерной пластины входного изображения, проиллюстрировано на рис. 4.

Рис. 3. Скелет части входного изображения с государственным номером

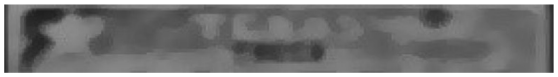


Рис. 4. Извлеченное из входного изображения название штата («Texas»)

На рис. 5 изображен извлеченный при помощи метода горизонтальной проекции гистограммы государственный номер. Результаты сегментации символов приводятся на рис. 6.

Рис. 5. Извлеченный из входного изображения государственный номер

Рис. 6. Сегментированные символы государственного номера

Предлагаемая в данной работе сверточная нейронная сеть используется в качестве экстрактора признаков и классификатора для распознавания символов английского алфавита и чисел. Регистрационный номер и идентификатор региона транспортного средства распознаются отдельными моделями сверточной сети. Первая архитектура обучается на бинаризованных изображениях и состоит из трех слоев свертки, пулинга и нормализации, а также двух полносвязных слоев. Во второй архитектуре количество слоев свертки увеличено до шести, а входные изображения находятся в оттенках серого.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка сегментации проводилась на базе данных из 394 изображений. Результаты сравнивались вручную путем оценки соответствия регистрационного номера и извлеченной информации. 372 изображения были сегментированы удовлетворительно, сегментация 22 изображений не удалась. Тем не менее некоторые из изображений с неудачной сегментацией были сегментированы частично. Это дает точность сегментации регистрационного номера 94,4%. Идентификатор региона был извлечен корректно для большинства изображений.

Первая модель сверточной нейронной сети при обучении с использованием бинарных изображений продемонстрировала точность распознавания 88,97% для идентификатора региона – 331 распознанное изображение из 372 – и 15,3% для государственного номера – 57 распознанных изображений из 372. Общая точность всех этапов составила 13% с учетом изображений, сегментированных некорректно.

Точность распознавания государственного номера для изображений в оттенках серого составила 91,12% – 339 верно распознанных изображений из 372. Несмотря на то, что эта модель сети обладает способностью различать «0» и «О», они считаются принадлежащими к одному и тому же классу из-за геометрических свойств символов. Точность распознавания идентификатора региона – 88,97%, или 331 распознанное изображение из 372. Общая точность для всех этапов составила 81,1% – 302 из 394 изображений сегментированы успешно и распознаны корректно.

Конкурс-тест систем распознавания автомобильных номеров, проведенный журналом «ProSystem CCTV» [7], показал результаты, приведенные в таблице ниже. Сравнение предложенной системы с ближайшими аналогами позволяет сделать вывод о возможности ее использования в коммерческих целях при следующих улучшениях:

1. Получение данных в режиме реального времени для их обработки и распознавания. К данным, полученным в режиме реального времени, относятся, например, изображения, собранные камерами видеонаблюдения с автостоянок, платных автодорог и т.д.

2. Использование локализации государственного номера.

3. Автоматическое выполнение этапов сегментации и локализации идентификатора региона.

Общая точность распознавания номерных знаков в сравнении с коммерческими системами-аналогами

Система распознавания автомобильных номеров	Общая точность распознавания
«Авто-Инспектор»	94,19%
«Auto-Trassir»	83,07%
«CVS-Авто»	82,09%
«АвтоУраган-ВСМ»	90,45%
Предложенная система	81,1%

Заключение

В работе исследовано использование методов глубокого обучения в области распоз-

навания символов текста на изображении. Предложена технология сегментации и распознавания текста применительно к задаче распознавания автомобильных номеров. Важнейшими аспектами построенной системы распознавания являются внедрение гибридного метода бинаризации, позволившего улучшить качество сегментации, и использование сверточных нейронных сетей для выделения признаков и распознавания номерных знаков.

Улучшение результатов может быть достигнуто за счет включения в предлагаемую методику этапа обнаружения идентификатора региона [8], а также реализации этапа сегментации номерного знака с использованием методов глубокого обучения [9]. Реализация всех этапов предложенной системы с использованием глубокого обучения может потребовать больших временных затрат и является сложной задачей из-за ограниченной доступности наборов данных. В качестве возможного решения этой проблемы может выступать использование современных графических процессоров.

Список литературы

1. Yang Y., Yan H. An adaptive logical method for binarization of degraded document images, Pattern Recognition. 2010. vol. 33. P. 787–807.

2. Gonzalez R. and Woods R. Digital Image Processing, 4th edition. Pearson Education, 2018. 1168 c.

3. Sauvola J., Pietikainen M. Adaptive document image binarization. Pattern Recognition. 2000. vol. 33. no. 2. P. 225–236.

4. Kim K.K., Kim K., Kim J., Kim H.J. Learning-based approach for license plate recognition. Proceedings of the IEEE Signal Processing Society Workshop. 2000. vol. 2. P. 614–623.

5. Du S., Ibrahim M., Shehata M. and Badawy W. Automatic license plate recognition (alpr): A state-of-the-art review. IEEE Trans. Circuits and Syst. for Video Technol. 2013. vol. 23. no. 2. P. 311–325.

6. Kresch R. and Malah D. Skeleton-based morphological coding of binary images. IEEE Transactions on Image Processing. 1998. vol. 7, no. 10. P. 1387–1394.

7. Распознавание автомобильных номеров: «Авто-Инспектор» – Лидер тестирования. [Электронный ресурс]. URL: https://www.adron-perm.ru/test_leader/ (дата обращения: 06.05.2020).

8. Sermanet P., Eigen D., Zhang X., Mathieu M., Fergus R., LeCun Y. Overfeat: Integrated recognition, localization and detection using convolutional networks. 2013. arXiv preprint arXiv:1312.6229.

9. Badrinarayanan V., Kendall A. and Cipolla R. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation, in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2017 vol. 39. no. 12. P. 2481–2495. DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2644615.

УДК 54.057

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ТИТАНАТОВ БАРИЯ-СТРОНЦИЯ МЕТОДОМ «ХИМИЧЕСКОЙ СБОРКИ»

[1]Евстифеев Е.Н., [1]Журавлев А.В., [2]Нестеров А.А.

[1]ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, e-mail: doc220649@mail.ru;

[2]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: info@sfedu.ru

В работе приведены результаты синтеза твердых растворов титанатов бария-стронция (BST) с использованием активного прекурсора – гликолята титана (IV). Для его синтеза сначала был получен гидроксид титана в результате взаимодействия тетраизопропилата титана с водой. Затем к свежеосажденному гидроксиду титана добавляли этиленгликоль в соотношении 1:30. Параметры процесса получения гликолята титана строго контролировали. Содержание титана в прекурсоре определяли комплексонометрическим методом при помощи обратного титрования. Для идентификации гликолята титана использовали ИК-спектрометр марки Varian Skimitar-1000. Синтез твердых растворов титанатов бария-стронция осуществлялся методом «химической сборки» путем проведения последовательных технологических операций в специальном реакторе фирмы Ready. Для получения BST в качестве исходных компонентов использовали: тетраизопропилат титана, карбонаты бария и стронция, концентрированную азотную кислоту, водный раствор аммиака и гликолят титана. Продукт реакции выдерживали в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение 6 ч. Полученный ксерогель исследовали с помощью ДТА на дериватографе Diamond TG/DTA, на основе данных которого определяли температурные режимы синтеза BST. Образование конечных фаз кислородно-октаэдрического типа контролировали с помощью РФА на дифрактометре ARL XTRA. Метод «химической сборки» BST позволяет в сравнении с методом твердофазных реакций снизить температуру с 1400 до 350 °С и сократить время их синтеза в десятки раз.

Ключевые слова: титанаты бария-стронция, пьезокерамика, гликолят титана, метод твердофазных реакций, метод «химической сборки»

SYNTHESIS OF SOLID SOLUTIONS OF TITANATES OF BARIUM-STRONTIUM THE METHOD OF «CHEMICAL ASSEMBLAGE»

[1]Evstifeev E.N., [1]Zhuravlev A.V., [2]Nesterov A.A.

[1]Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: doc220649@mail.ru;

[2]Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: info@sfedu.ru

The paper presents the results of the synthesis of solid solutions of barium-strontium titanates (BST) using the active precursor – titanium glycolate (IV). For its synthesis, titanium hydroxide was first obtained as a result of the interaction of titanium tetraisopropylate with water. Then, ethylene glycol was added to the newly deposited titanium hydroxide in a ratio of 1:30. Parameters of the process of obtaining titanium glycolate were strictly controlled. Titanium content in the precursor was determined by complexometric method using reverse titration. For identification of titanium glycolate the IR spectrometer Varian Skimitar-1000 was used. The synthesis of solid solutions of barium-strontium titanates was carried out by the method of «chemical Assembly» by means of successive technological operations in a special reactor of Ready company. To obtain the BST as initial components used: tetraisopropyl titanium, the carbonates of barium and strontium, concentrated nitric acid, aqueous solution of ammonia and glycolate titanium. The reaction product was kept in a drying Cabinet at a temperature of 80 °C for 6 hours. The obtained xerogel was investigated using DTA on derivatograf Diamond TG/DTA, on the basis of data which was determined by temperature conditions of the synthesis of BST. The formation of the final phases of oxygen-octahedral type was controlled by XTRA x-ray diffractometer. The method of «chemical Assembly» BST allows in comparison with the method of solid-phase reactions to reduce the temperature from 1400 to 350 °C and reduce the time of their synthesis tenfold.

Keywords: titanates of barium-strontium, piezoceramics, glycolate titanium, the method of solid-phase reactions, the method of «chemical assemblage»

В настоящее время в различных отраслях техники широкое применение получили материалы на основе фаз кислородно-октаэдрического типа. Это связано с их приемлемой технологичностью, высокими точками Кюри и относительно высокой стабильностью к температуре, давлению и другим внешним воздействиям.

Титанат бария-стронция (BST) со структурой типа перовскита – один из самых известных и широко применяемых сегнетоэлектрических материалов кислородно-октаэдрического типа. Основанием для такого утверждения является огромная практическая значимость BST. Высокие диэлектрические характеристики таких материалов и возможность управлять их параметрами с помощью внешних воздействий (в частности, электрическим полем) обуславливают их широкое использование в малогабаритных низкочастотных конденсаторах с большой удельной ёмкостью, в счётно-вычислительной технике в качестве ячеек памяти, технике СВЧ [1, 2].

Пьезокерамические датчики и пьезокерамические преобразователи на их основе используются в медицине, автомобильном, авиационном и железнодорожном транс-

порте, энергетике, нефтегазовом комплексе, общем и специальном машиностроении, химии и химической технологии, научном приборостроении, военной технике. Особое значение имеют пьезоэлектрики при конструировании и производстве микро- и наноэлектромеханических систем [3].

Свойства пьезокерамики на основе BST ($Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$) до сих пор не в полной мере востребованы и использованы наукой, техникой и технологиями, причиной чему в немалой степени является принципиальная невозможность воспроизведения в деталях состава, структуры и свойств получаемых пьезокерамических материалов в условиях наиболее распространенной в настоящее время промышленной технологии высокотемпературного твердофазного синтеза (МТФР) [4, 5].

Целью данного исследования является синтез твердых растворов титанатов бария-стронция с использованием активного прекурсора – гликолята титана (IV) методом «химической сборки», который, в отличие от МТФР, позволяет получать BST при значительно более низкой температуре.

Материалы и методы исследования

Метод «химической сборки» сегнетофаз кислородно-октаэдрического типа включает в себя несколько этапов. На первом этапе синтезировали гликолят титана, который использовали в качестве одного из исходных веществ для получения BST.

Сначала был получен гидроксид титана ($Ti(OH)_4$) в результате взаимодействия тетраизопропилата титана с водой в специальном реакторе фирмы Ready [6], который позволяет в условиях лаборатории отработать рабочие параметры синтеза в промышленности с использованием емкостей с геометрией производственных реакторов. Процесс вели следующим образом: дистиллированную воду помещали в реактор и при постоянном охлаждении и перемешивании добавляли тетраизопропилат титана $Ti(C_3H_7O)_4$. Затем вводили водный раствор аммиака, следя, чтобы температура не превышала 6 °С. При достижении pH = 7,5–8 осадок отделяли фильтрованием с промыванием дистиллированной водой.

Синтез гликолята титана основан на реакции взаимодействия свежеосажденного гидроксида титана с этиленгликолем в соотношении 1:30 [7]:

$$Ti(OH)_4 + 2HOCH_2CH_2OH =$$

$$= Ti(OCH_2CH_2O)_2 + 4H_2O\uparrow.$$

Полученную смесь нагревали при интенсивном перемешивании до 170 °С и после выдержки при этой температуре в течение 40 мин охлаждали до комнатной температуры. Образовавшиеся продукты отделяли от непрореагировавшего этиленгликоля вакуумной фильтрацией, промывали ацетоном, просушивали в сушильном шкафу при 50 °С в течение 30 мин и помещали в бюксы с притертыми крышками для хранения.

С помощью комплексонометрического метода при помощи обратного титрования определяли содержание титана в продукте синтеза. Проведение данного метода состоит из следующих этапов:

– навеску гликолята титана 0,354 г помещали в стакан вместимостью 100 см^3, прибавляли 2,5 г сернокислого аммония, 5,5 см^3 концентрированной серной кислоты, накрывали стакан часовым стеклом и осторожно нагревали на электрической плитке до полного растворения;

– получившийся раствор смешивали с дистиллированной водой;

– 25 см^3 полученного раствора помещали в коническую колбу вместимостью 500 см^3, доводили объем раствора водой до 200 см^3, прибавляли 2 см^3 перекиси водорода и выдерживали в течение 15 мин;

– прибавляли из бюретки 20 см^3 раствора динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты концентрации 0,05 моль/дм^3 и снова выдерживали в течение 30 мин;

– к раствору добавляли 15 г уротропина, 1 см^3 раствора ксиленолового оранжевого и титровали из бюретки раствором 7-водного сернокислого цинка концентрации 0,05 моль/дм^3 до начала изменения оранжевато-желтой окраски раствора.

Для идентификации и качественного анализа гликолята титана использовался ИК-спектрометр марки Varian Skimitar–1000. В качестве растворителя использовали гексахлорбутадиен-1,3, собственный спектр поглощения которого не налагается на полосы поглощения исследуемого образца гликолята титана.

В последующей стадии синтеза твердых растворов титанатов бария-стронция использовали следующие исходные компоненты: тетраизопропилат титана, карбонат бария $BaCO_3$, карбонат стронция $SrCO_3$, концентрированную азотную кислоту, дистиллированную воду и водный раствор аммиака.

Синтез проводился методом «химической сборки» в реакторе фирмы Ready. Последовательность технологических операций представлена ниже:

– необходимые количества карбонатов бария и стронция взвешивались на аналитических весах с точностью до третьего знака, после чего их растворяли в концентрированной азотной кислоте, затем pH раствора

доводился до 7 с помощью аммиака и контролировался универсальной индикаторной бумагой;

– расчетное количество тетраизопропилата титана отмеряли мерным цилиндром и добавляли по каплям к раствору нитратов бария и стронция;

– полученный раствор смешивали с гликолятом титана до образования суспензии, после чего раствор подвергался интенсивному перемешиванию в течение 30–40 мин;

– первичный продукт реакции помещали в сушильный шкаф и выдерживали при температуре 80 °С в течение 6 ч.

Термический анализ полученного ксерогеля проводили в атмосфере воздуха и аргона в условиях неизотермического нагрева с эталоном α-Al_2O_3 при скорости нагрева 10 град/мин в интервале температур 25–900 °С (дериватограф Perking Elmer Diamond TG/DTA). На основе этих данных определяли температурные режимы синтеза твердых растворов $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$.

Процесс образования конечной фазы контролировался с помощью рентгенофазового анализа (РФА) на порошковом дифрактометре ARL X'TRA (ThermoFisher Scientific, Швейцария) в излучении с длиной волны 1,5418 Å.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ гликолята титана комплексонометрическим методом показал наличие в образце 27,7 % титана (по теории на чистый гликолят титана приходится 28,5 %). Элементный анализ на углерод и водород показал небольшой недостаток углерода и небольшой избыток водорода, что может свидетельствовать о наличии в образце небольшого количества воды.

Данное предположение подтверждается при помощи ИК-спектроскопического исследования (рис. 1), которое показало наличие воды (валентные колебания ОН-групп в области 3200–3500 $см^{-1}$). Наличие CH_3-групп также подтверждено ИК-спектром (валентные колебания в области 2928 $см^{-1}$ (антисимметричные) и 2856 $см^{-1}$ (симметричные).

Данные ДТА (рис. 2) полностью соответствуют сделанным выше предположениям.

В атмосфере воздуха гликолят титана полностью сгорает в интервале температур от 270 до 320 °С. Термической деструкции гликолята титана с образованием TiO_2 отвечает один узкий экзотермический эффект при 329,2 °С. Потеря массы составляет 2,28 % (рис. 2). Дальнейшие изменения массы незначительны.

Окисление образца гликолята титана в атмосфере аргона (рис. 3) протекает очень сложно. Кроме основного экзотермического эффекта при температуре 362,8 °С наблюдаются еще два менее значительных эффекта при температурах 341,3 и 468,3 °С. Это свидетельствует о протекании процесса окисления в несколько стадий.

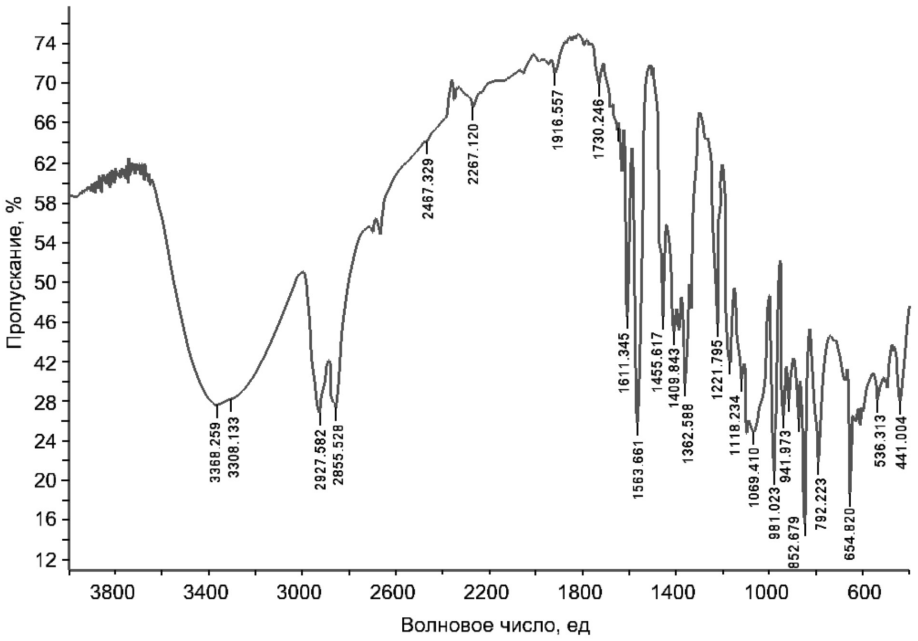


Рис. 1. ИК-спектр гликолята титана в гексахлорбутадиене

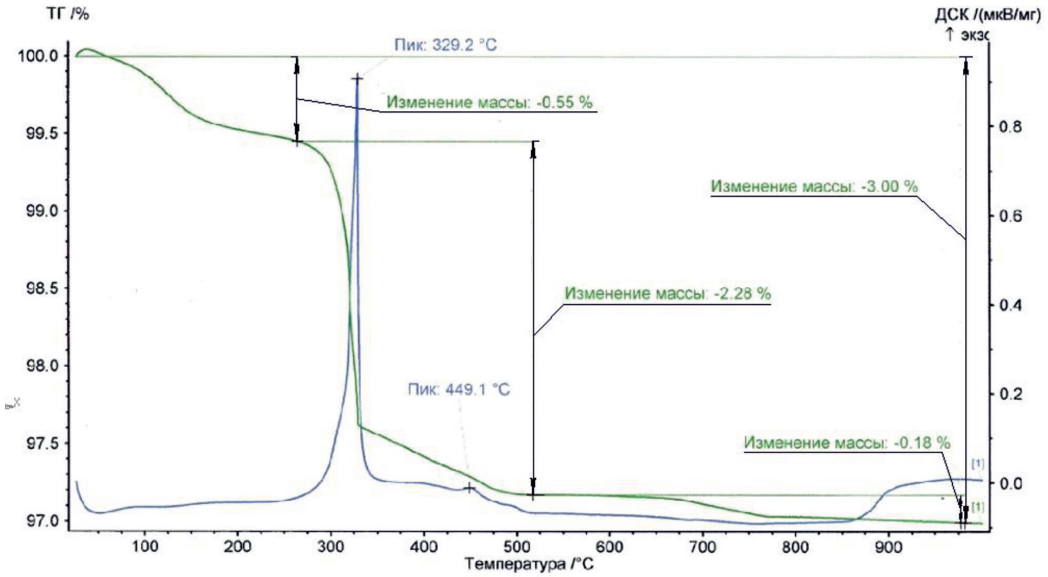


Рис. 2. Кривые ДСК и ТГ при сжигании гликолята титана в атмосфере воздуха

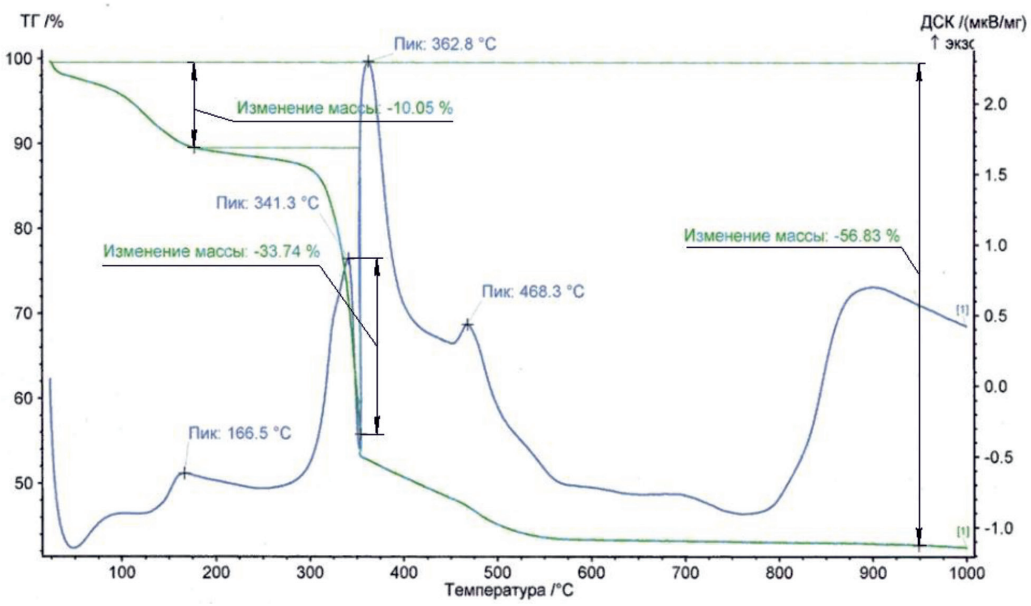


Рис. 3. Кривые ДСК и ТГ при сжигании гликолята титана в атмосфере аргона

В области температур от 50 до 100 °C потеря массы составляет 4,3−4,4 %, что соответствует испарению воды, содержащейся в образце гликолята титана.

Из данных рис. 2 следует, что гликолят титана можно использовать в качестве прекурсора для синтеза сегнетофаз методом «химической сборки» при температуре до 350 °C, что в 3–4 раза ниже температуры соответствующих твердофазных реакций.

На втором этапе методом «химической сборки» был проведен синтез $BaTiO_3$ и $SrTiO_3$. На рис. 4 и 5 представлены данные ДТА шихты, состоящей из гликолята титана, карбоната бария $BaCO_3$ (карбоната стронция $SrCO_3$), $HNO_{3(к)}$, $H_2O_{(дист)}$ и $NH_3 \cdot H_2O$. Из нитратного раствора с помощью 25 %-ного раствора аммиака при 0 °C происходит осаждение оловой формы гидроксида титана (IV).

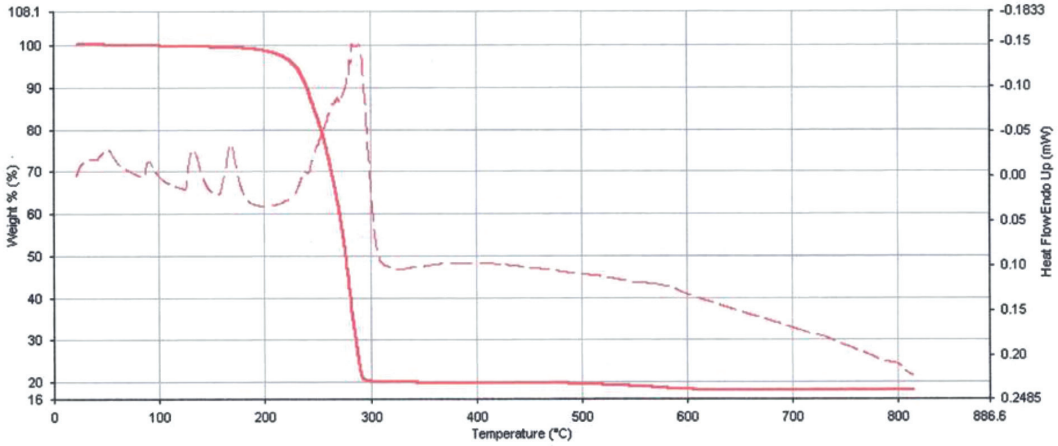


Рис. 4. Кривые ДСК и ТГ шихты для синтеза титаната бария

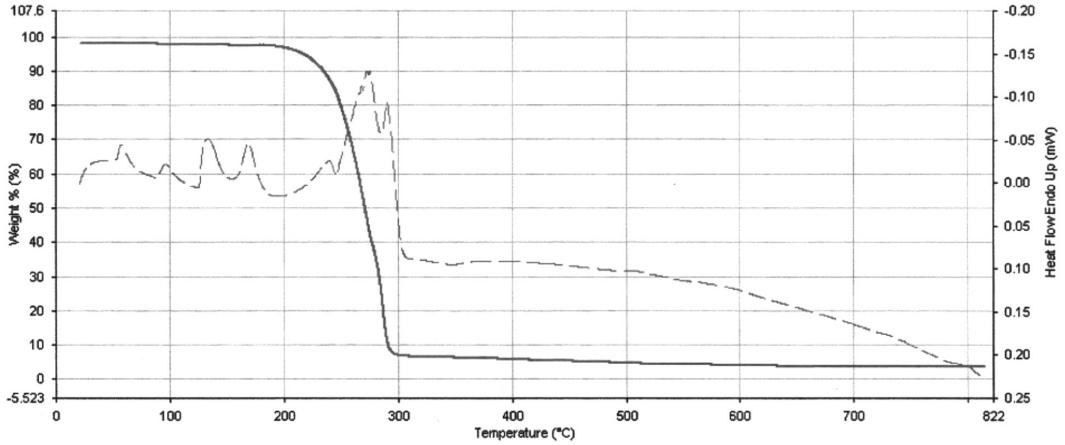


Рис. 5. Кривые ДСК и ТГ шихты для синтеза титаната стронция

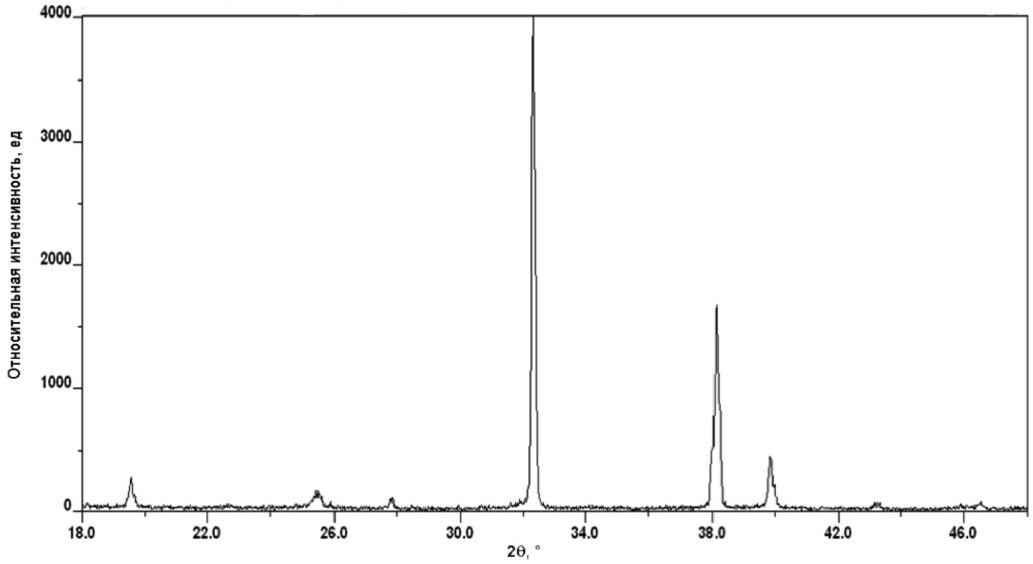


Рис. 6. Рентгенограмма $SrTiO_3$

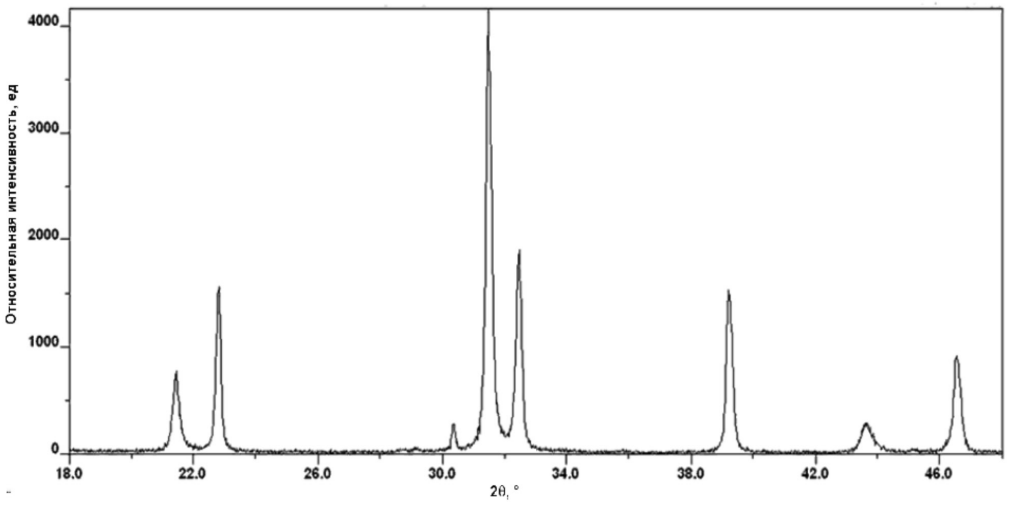


Рис. 7. Рентгенограмма $BaTiO_3$

В этой системе процесс кристаллизации TiO_2, протекающий за счет термической деструкции гидроксида, инициируется энергией, выделяющейся за счет разложения побочного продукта нитрата аммония NH_4NO_3 по следующей схеме:

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + 2H_2O.$$

Согласно данным ДТА (рис. 4, 5) низкотемпературный синтез титанатов бария и стронция начинается с удаления из реакционной системы наименее прочно связанной воды при температуре 50 °С.

При этом система проходит через ряд промежуточных, локально стабильных состояний. В интервале температур от 250 до 300 °С происходит разложение нитрата аммония, который является побочным продуктом протекающих в системе реакций.

При температуре около 300 °С происходит образование первичной фазы титаната, на что указывают экзотермические пики (рис. 4, 5).

На рис. 6 и 7 представлены рентгенограммы $SrTiO_3$ и $BaTiO_3$.

Согласно данным РФА (рис. 6, 7) в интервале температур от 250 до 300 °С наблюдается образование кубической фазы со структурой типа перовскита. Наличие других пиков говорит о присутствии примесей, скорее всего рутила.

Выводы

1. Показано, что гликолят титана может быть использован в качестве активного прекурсора для синтеза сегнетофаз кислородно-октаэдрического типа методом «химической сборки».

2. Метод «химической сборки» твердых растворов на основе титанатов бария-стронция в сравнении с методом твердофазных реакций дает возможность снизить температуру реакции с 1400 до 350 °С и сократить время их синтеза в десятки раз.

Список литературы

1. Bao D., Ragab K.Z., Hao Y., Kallos E., Tang W., Argyropoulos C., Piao Y., Yang S. All-dielectric invisibility cloaks made of $BaTiO_3$-loaded polyurethane foam. New Journal of Physics. 2011. vol. 13. P. 103023. 13 p.

2. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд / Под ред. К.М. Рабе, Ч.Г. Ана, Ж.-М. Трискона; пер. с анг. 2-е изд. (эл.). М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. 440 с. [Электронный ресурс]. URL: http://znanium.com/catalog/product/478279 (дата обращения: 14.04.2020).

3. Аль Мандалави В.М., Короткова Т.Н., Дунаев А.И., Каширин М.А., Калгин А.В., Емельянов Н.А., Коротков Л.Н. Электрические, диэлектрические и магнитные свойства наноструктурированного титаната бария // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2016. Т. 12. № 5. С. 19–27.

4. Шут В.Н., Сырцов С.Р., Трубловский В.Л., Струков Б.А. Градиентная керамика на основе твердых растворов $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ // Неорганические материалы. 2011. Т. 47. № 1. С. 94–100.

5. Сидорова О.В., Алешина Л.А., Калинкин А.М. Влияние механоактивации на структурное состояние титаната стронция // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (2). С. 280–288.

6. Нестеров А.А., Евстифеев Е.Н., Кужаров А.С., Кузьминова И.Г. Использование комплексных соединений Ti (IV) для низкотемпературного синтеза фаз со структурой типа перовскита // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 11. С. 271–273.

7. Красильников В.Н., Штин А.П., Гырдасова О.И. Синтез и свойства гликолята титана $Ti(OCH_2CH_2O)_2$ // Координационные соединения. 2008. № 7. С. 1146–1151.

УДК 621.867

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭСКАЛАТОРНОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТРОПОЛИТЕНА

Еланцев В.В.

Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I, Санкт-Петербург, e-mail: evv3012@gmail.com

Целью данной работы является рассмотрение исторической ретроспективы формирования системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена. На основе анализа рассмотренной ретроспективы обозначить возможные точки приложения современных решений в области технического обслуживания и ремонта с целью повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Наметить возможные способы повышения достоверности определения текущего и прогнозного технического состоянии элементов подсистем эскалатора. В качестве метода исследования в статье выступает сравнение существующей структуры работ из состава системы технического обслуживания и ремонта со структурой работ, преобразованной посредством внедрения информационного пространства, в которое интегрированы элементами искусственного интеллекта с использованием теории нечетких множеств. Практическая значимость настоящей работы заключается в определении базовых принципов построения системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена. Предлагаемые в данной статье решения позволят осуществить постепенное внедрение в обозначенные точки структуры работ современные методологические подходы к организации технического обслуживания и ремонта, позволяющие более рационально распределять выделяемые ресурсы, обеспечивая при этом необходимый уровень безопасности транспортировки пассажиров.

Ключевые слова: эскалатор, информационное пространство, техническое обслуживание и ремонт, управление ресурсами, электронный документооборот

TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. HISTORY OF UNDERGROUND ESCALATOR MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM

Elantsev V.V.

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, e-mail: evv3012@gmail.com

The purpose of this paper to consider historical retrospective of formation of the underground escalator infrastructure maintenance and repair system. On the basis of the retrospective analysis have to identify the possible application points of modern solutions in the field of maintenance and repair for increase efficiency and safety of operation of underground escalators. To indicate possible ways to increase the reliability of determining the current and predicted technical state of escalator subsystem elements. As a method of research, the article uses a comparison of the existing structure of works from the maintenance and repair system, with the structure of works transformed by the means of implementation of information space into which are integrated by elements of artificial intelligence using the fuzzy sets theory. The practical significance of this work is define the basic creating principles of maintenance and repair system of the escalator department of the metro. The solutions proposed in this article will allow the gradual introduction of modern methodological approaches to the organization of maintenance and repair into the designated points of the work structure, allowing for more rational allocation of allocated resources, while ensuring the necessary safety level of passenger transportation.

Keywords: escalator, information space, maintenance and repair system, resource management, electronic workflows

В текущих условиях постоянно изменяющейся экономической обстановки ключевой характеристикой любого предприятия является способность сбалансированно маневрировать в ситуации постоянного дефицита материальных, трудовых и организационных ресурсов.

Среди предприятий городской общественной транспортной инфраструктуры на метрополитен приходится значительная часть постоянно увеличивающегося пассажиропотока, что обостряет вопрос поиска баланса при управлении выделяемым ресурсам на развитие и поддержание штатной работы всех подразделений. Из всей инфраструктуры метрополитена, в силу специфики расположения, особое значение имеет эскалаторное хозяйство.

Сегодня эскалаторный парк ГУП «Петербургский метрополитен» насчитывает 301 эскалатор. Для поддержания эскалаторного хозяйства в безопасном работоспособном состоянии используется система технического обслуживания и ремонта

(далее – ТОиР) в основу которой были положены результаты крупномасштабных фундаментальных исследований в области организации ТОиР эскалаторного хозяйства под эгидой Главметрополитена СССР. Исследования проводились с конца 70-х по начало 90-х годов XX века в рамках государственного заказа, реализуемого коллективом кафедры «Строительно-дорожные машины» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта им. ак. В.Н. Образцова.

История вопроса

За пятнадцатилетний период коллектив кафедры выполнил всесторонний анализ вопроса построения оптимальной системы ТОиР эскалаторного хозяйства метрополитена с учётом развития науки и техники на тот момент времени.

Основные результаты исследований кафедры, позволяющие определить базовые принципы построения системы ТОиР эскалаторного хозяйства метрополитена, представлены в таблице.

Результаты исследований

№ п/п	Год работы	Основные результаты исследования
1	1978 [1]	– Выполнен анализ опыта эскалаторостроения. – Разработана организационная структура эскалаторного хозяйства Главметрополитена. – Разработаны методические основы подбора комплекта технических средств для выполнения технического воздействия и его основные показатели.
2	1979 [2]	– Выполнен патентный поиск технических решений ТОиР. – Разработаны технологические карты необходимых работ.
3	1980 [3]	– Сформированы исходные данные для построения оптимальной структуры ТОиР. – Сформирован перечень факторов, влияющих на периодичность ТОиР. – Описаны основные мероприятия системы планово-предупредительных работ.
4	1981 [4]	– Выполнен анализ работ, необходимых для устранения отказа. – Определен количественный и качественный анализ необходимых запасных частей (далее – ЗПЧ).
5	1982 [5]	– Определены параметры потока требований. – Построена графическая гипотетическая модель процесса появления отказа. – Приведены данные о наработке среднестатистического эскалатора до планового обслуживания или ремонта. – Выполнен расчет потока требования ЗПЧ, норм количества деталей для эскалаторов, общей потребности в ЗПЧ для обеспечения ТОиР эскалаторного хозяйства в год в стоимостном выражении. – Определены числовые значения коэффициентов нагрузки для различных станций. – Выполнена классификация станций в зависимости от пассажиропотока.
6	1986 [6]	– Установлено распределение видов отказов в следующей пропорции: 2% – непредвиденные отказы и 98% – прогнозируемые отказы. – Сформулированы стержневые работы и основные требования к ним. – Описана схема группировки единичных работ в виды технического обслуживания. – Установлена закономерность распределения трудоемкости работ. – Описан состав ремонтных бригад и состав комплекта технических средств, оснастки и инструмента, необходимого для выполнения работ. – Выполнен расчет хранящегося на станции неснижаемого запаса сборочных единиц, деталей и материала, предназначенных для устранения и предупреждения отказов. – Выполнен расчёт количественного состава отдельных сборочных единиц и деталей.
7	1986 [7]	– Проведена количественная оценка эскалаторного парка типа ЭТ Московского метрополитена и качественный анализ условий их работ. – Выполнена систематизация и классификация причин отказов эскалаторов типа ЭТ и расхода их технического ресурса. – Предложен теоретический метод определения периода выполнения КР эскалаторов типа ЭТ. – Определено ориентировочное значение межремонтной наработки, равное 135 тыс. км.
8	1987 [8]	– Установлены причины снижения межремонтной наработки эскалаторов типа ЭТ, эксплуатируемых на Ленинградском метрополитене. – Установлена доля отказов, приходящихся на основные элементы эскалатора. – Установлены основные факторы расхода технического ресурса эскалаторов типа ЭТ. – Установлен оптимальный интервал межремонтного пробега эскалатора, равный 132,9 тыс. км.

Окончание таблицы

№ п/п	Год работы	Основные результаты исследования
9	1988 [9]	– Выполнена оптимизация параметров технологического процесса капитального ремонта эскалаторов типа ЛТ-2 и ЭТ-2. – Определены основные лимитирующие факторы оптимизации выполнения работ. – Предложена математическая модель связи срока простоя эскалатора в КР со значениями рассмотренных факторов. – Установлено, что значительная доля трудоёмкости всех работ приходится на демонтажно-монтажные и ремонтные работы, а из элементов – на ступени и направляющие. – Установлено среднее значение простоя при КР: для эскалаторов типа ЛТ-2 составляет 60 кал. дней (20 712 н/часов), для эскалаторов типа ЭТ-2 составляет 79 кал. дней (27 237 н/часов). – Рассчитан экономический ущерб от простоя эскалатора в ремонте в течение одних суток.
10	1991 [10]	– Определены факторы, влияющие на расход ЗПЧ и агрегатов. – Описаны теоретические нормы расхода ЗПЧ на основе их срока службы.
11	1991 [11]	– Разработаны рекомендации по составу комплекта технологических средств для выполнения ТО эскалаторов метрополитена. – Описаны преимущества бригадной организации труда при выполнении технического воздействия и расчет ее численности. – Сформирован комплект технических средств для выполнения ТО эскалатора.

Рис. 1. Структура системы ТОиР

Заложенные в исследованиях кафедры базовые принципы построения системы ТОиР реализуются и сегодня в нормативных документах ГУП «Петербургский метрополитен».

В соответствии с руководством по ремонту эскалаторов и инструкцией по техническому обслуживанию эскалаторов существующая система ТОиР имеет вид, представленный на рис. 1.

Согласно [12] в состав технического обслуживания входят: ежесменное техническое обслуживание (ЕТО – раз в смену (сутки)); техническое обслуживание объёма 1 (ТО-1 – 1 раз в 10 дней); техническое обслуживание объёма 2 (ТО-2 – 1 раз в месяц); техническое обслуживание объёма 3 (ТО-3 – 1 раз в 3 месяца); техническое обслуживание объёма 4 (ТО-4 – 1 раз в 6 месяцев); техническое обслуживание объёма 5 (ТО-5 – 1 раз в год).

На основе вышеописанных временных интервалов формируется годовой план планово-предупредительных работ, приведённый на рис. 2.

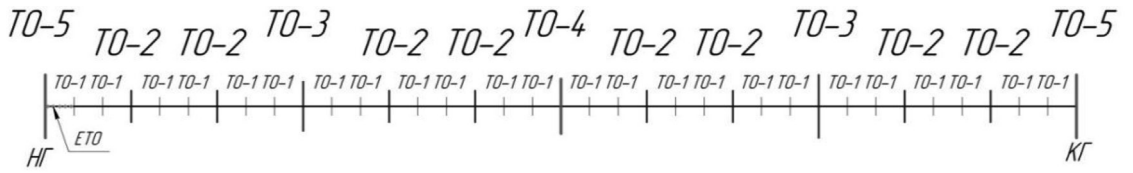


Рис. 2. Циклограмма обслуживания эскалаторов

В свою очередь, согласно [13], ремонтные работы на эскалаторе подразделяются на текущий, средний, капитальный (двух объёмов). Под ремонтными работами на эскалаторе понимается комплекс мероприятий по устранению неисправности и восстановлению работоспособности. В объем регламентных работ при среднем и капитальном ремонте на основе расчётного остаточного ресурса могут быть включены дополнительные сборочные единицы и узлы эскалатора. Восстановление ресурса узлов и деталей, состояние которых на момент проведения предремонтной дефектации не соответствует требованиям нормативно-технической документации и конструкторской документации, также может быть включено в объёмы предстоящих ремонтных работ.

Каждая работа из состава системы, представленной на рис. 1, включает подготовительные организационно-технические мероприятия (этап 1), основные мероприятия (этап 2) и заключительные мероприятия (этап 3), последовательность которых представлена на рис. 3.

Рассмотренная на рис. 1–3 система является системой планово-предупредительных работ (далее – ППР) – статичной структурой, при которой все мероприятия строго определяются параметром «времени/наработки».

Основными достоинствами существующей системы ТОиР являются чёткость и прогнозируемость ремонтных горизонтов, позволяющие своевременно подготовить материально-техническую базу, персонал и бюджет для проведения предстоящих работ.

Однако существующая система имеет и ряд существенных недостатков: установленные ремонтные интервалы зачастую опережают эксплуатационные показания для проведения работ, оказывая избыточное воздействие, нарушающее нормальную (штатную) работу оборудования, способствуя неэффективному использованию финансовых, трудовых и материально-технических ресурсов; не существует адекватной обратной связи между проведенными мероприятиями, фактическим техническим состоянием и планируемым; в ряде случаев по объективным и субъективным причинам заносимая в бумажные журналы информация может не соответствовать действительности, что затрудняет как экономическую, так и техническую оценку проведенных ремонтно-ревизионных мероприятий. В связи с чем снижается общая эффективность всей системы ТОиР.

Перечисленные недостатки являются следствием отсутствия современных методов диагностики и мониторинга состояния систем эскалатора, позволяющих оценивать правильность принятых краткосрочных решений и производить коррекцию (поэлементную диверсификацию) существующей стратегии ТОиР в целом, а также следствием отсутствия современных механизмов формирования, обогащения и обработки информационных потоков, позволяющих оптимально использовать и распределять имеющиеся ресурсы для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена.

Точки приложения новых решений

С учетом вышеперечисленных недостатков, а также обобщенного представления о структуре работ существующей системы ТОиР, сформулируем точки приложения современных решений. В качестве таких точек предлагается использовать входы/выходы каждого из этапа работ, представленных на рис. 3.

Результатом применения современных решений на входах/выходах каждого из этапа работ является преобразованная структура работ, представленная на рис. 4.

Предложенная на рис. 4 структура работ основана на описанной в работе [14] современной концепции информационного пространства, включающего электронный документооборот.

В качестве базовых компонентов предлагаемого информационного пространства выступают механизм преобразования информационного потока и модель комплексного электронного документа (наряда-допуска), рассмотренные в работе [15].

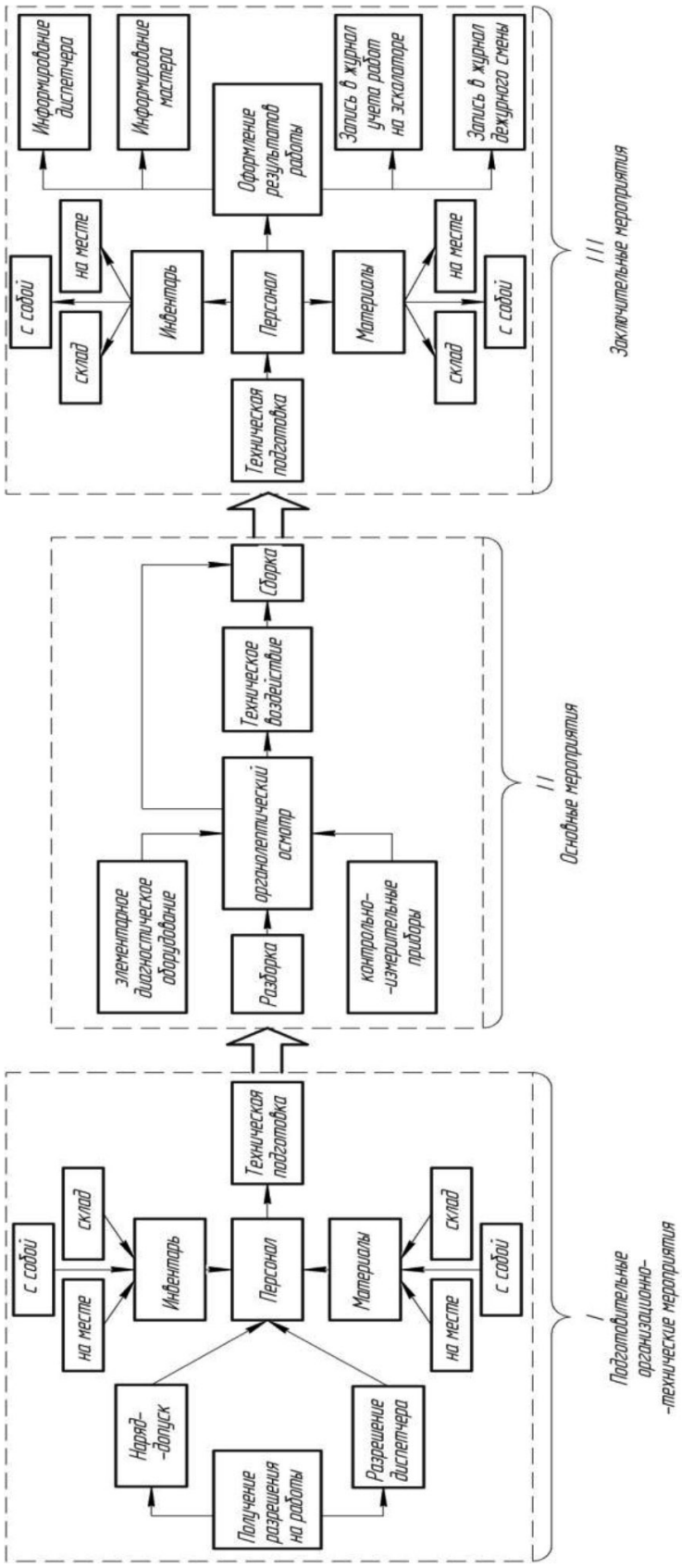


Рис. 3. Структура работ

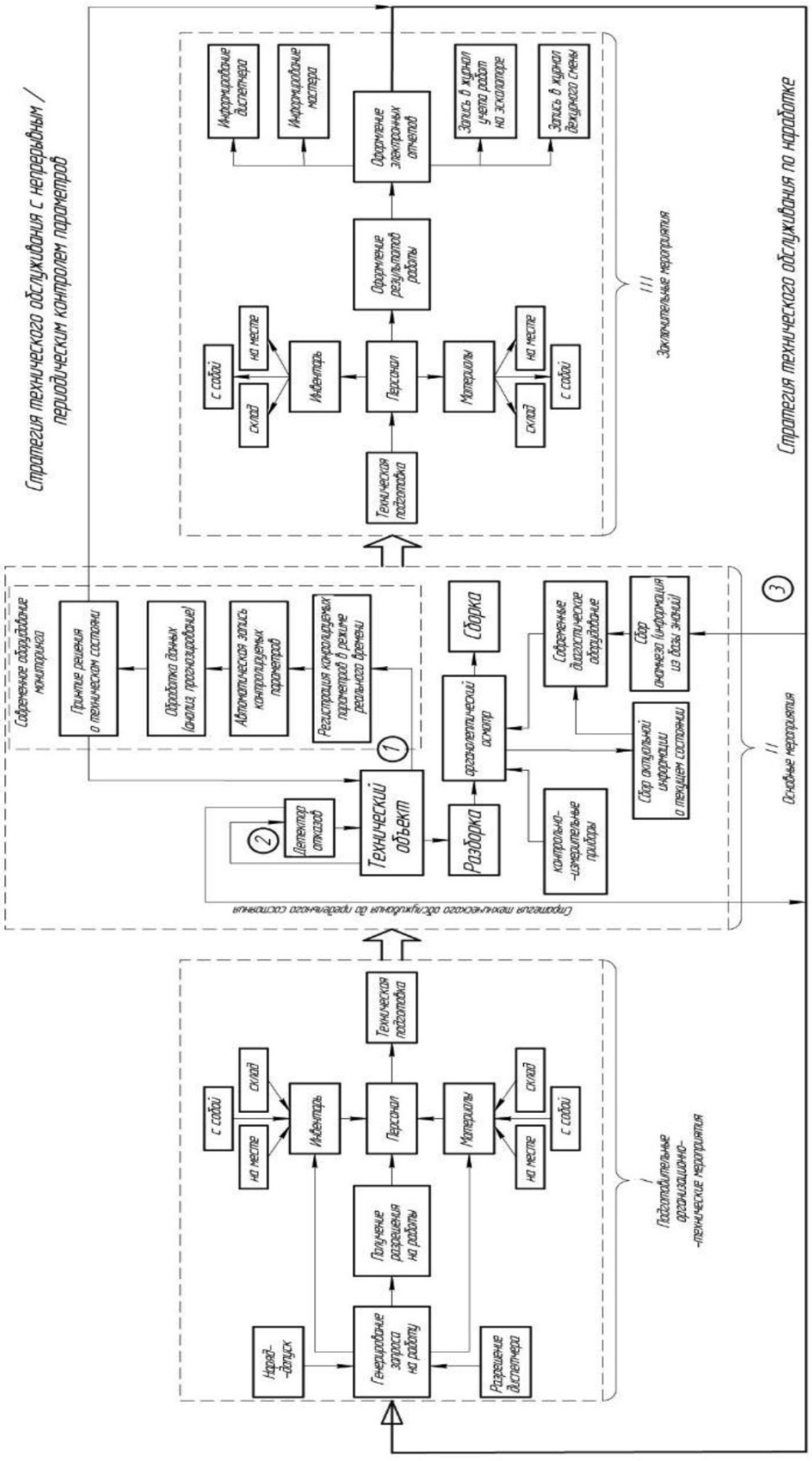


Рис. 4. Преобразованная структура работ

Заключение

Ретроспективный анализ ранее выполненных научных исследований демонстрирует достаточную проработку основных принципов, положенных в базис системы ТОиР эскалаторного хозяйства ГУП «Петербургский метрополитен». Вместе с тем в связи с длительным отсутствием прикладных исследований, направленных на совершенствование системы ТОиР, сейчас наблюдается некоторое отставание в существующих стратегических целях и тактических задачах, решаемых ГУП «Петербургский метрополитен», от реалий постоянно меняющейся социально-экономической ситуации в городской агломерации.

Для обеспечения более гибкого подхода, отвечающего современным реалиям, в структуру работ системы ТОиР эскалаторного хозяйства предлагается внедрить средства комплексной компьютеризации информационных потоков от элемента подсистемы эскалатора к оператору (лицу, принимающему решение) и обратно, через создание информационного пространства и интегрированного в него специализированного электронного документооборота. Создаваемое единое информационное пространство способно обеспечить более эффективные обратные связи на каждом этапе преобразованной структуры работ системы ТОиР, позволяя получить постоянно накапливаемые (обновляемые) знания о текущем состоянии эскалатора, формируя наиболее оптимальные и актуальные управленческие решения, актуальный и эффективный бюджет для эксплуатации эскалатора, в достаточном количестве и с требуемым уровнем квалификации эксплуатационный персонал, а также необходимый и достаточный объем материально-технического снабжения.

Перечисленные преимущества позволяют перевести системы эскалатора на более высокий уровень культуры эксплуатации, с поддержанием необходимой и достаточной безопасности перевозки пассажиров.

Список литературы

1. Разработка системы ремонта и обслуживания эскалаторного хозяйства: отчет о НИР (промежуточ.): Том № 1 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1978. Инв. № С21961р-1.

2. Разработка системы ремонта и обслуживания эскалаторного хозяйства: отчет о НИР (промежуточ.): Том № 2 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1979. Инв. № С21961р-2.

3. Разработка системы ремонта и обслуживания эскалаторного хозяйства: отчет о НИР (промежуточ.): Том № 3 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1980. Инв. № С21961р-3.

4. Разработка системы ремонта и обслуживания эскалаторного хозяйства: отчет о НИР (промежуточ.): Том № 4 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1981. Инв. № С21961р-4.

5. Разработка системы ремонта и обслуживания эскалаторного хозяйства: отчет о НИР (заключ.): Том № 5 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1982. Инв. № С21961р-5.

6. Определение норм расхода запасных частей для эскалаторов метрополитена: отчет о НИР (заключ.): / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1986. Инв. № С20286р.

7. Организация и технология технического обслуживания и ремонта эскалаторов: отчет о НИР (заключ.): / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1986. Инв. № С24035р.

8. Исследование и разработка норм межремонтного пробега эскалаторов типа ЭТ: отчет о НИР (промежуточ.): Часть 1 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1987. Инв. № С24359р.

9. Разработка норм межремонтного пробега эскалаторов типа ЭТ: отчет о НИР (промежуточ.): Часть 2 / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1988. Инв. № С24362р.

10. Оптимизация параметров технологического процесса капитального ремонта эскалатора типа ЛТ-2, ЭТ-2 в условиях объединенных мастерских метрополитена: отчет о НИР (промежуточ.): / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1991. Инв. № С26346р.

11. Разработка рекомендаций по составу комплекту технологических средств для выполнения технического обслуживания эскалаторов метрополитена: отчет о НИР (промежуточ.): / ЛИИЖТ; рук. А.В. Каракулев; исполн.: колект. авторов. Л., 1991. Инв. № С23194р-5.

12. Инструкция по техническому обслуживанию эскалаторов типа ЭТ-2, ЭТ-2М, ЭТ-3. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2005. 169 с.

13. Руководство по ремонту эскалаторов: РР-ЭМ 002-17. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2017. 96 с.

14. Еланцев В.В. К вопросу о повышении эффективности и безопасности тоннельных эскалаторов. Информационный комплекс оперативного мониторинга состояния эскалатора // Инновационные внедрения в области технических наук: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 5 (Москва, 25 января 2020 г.). Нижний Новгород: Изд-во Ареал, 2020. С. 10–16.

15. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Механизмы управления ресурсами // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 7 (Екатеринбург, 11 марта 2020 г.). Нижний Новгород: Изд-во Ареал, 2020. С. 19–26.

ОБЗОРЫ

УДК 621.039.67:530.145

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО

[1]Тертышник Э.Г., [2]Епифанова И.Э.

[1]ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета РФ, Обнинск, e-mail: edtertysh23@yandex.ru;

[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», Обнинск, e-mail: epifan.obninsk@gmail.com

Данная работа представляет собой обзор и анализ успешно проведенных экспериментальных исследований отечественных и зарубежных специалистов, дающих основание для подтверждения существования явления низкоэнергетических ядерных реакций (НЭЯР), имеющих место при температурах от 20 до 1400 °С, и возможности получения экологически чистой ядерной энергии на основе подобных ядерных реакций. Приведено краткое описание существующих общих принципов получения ядерной энергии – как путем слияния легких ядер, так и в процессе деления тяжелых ядер. Отмечено отсутствие существенных достижений при создании установок управляемого термоядерного синтеза. Показаны многообещающие преимущества энергетики, основанной на низкоэнергетических ядерных реакциях, по сравнению с современной ядерной энергетикой: запасы топлива – водород и дейтерий на Земле практически неисчерпаемы. К тому же энергетика, основанная на НЭЯР, экологически безопасна, и, следовательно, можно приблизить производителя энергии к её потребителю и тем самым значительно снизить стоимость электроэнергии. Отмечено, что разработка адекватной теории низкоэнергетических ядерных реакций и трансмутации элементов в условиях низких температур является важным фактором для овладения новой технологией в ядерной энергетике и для окончательного признания феномена НЭЯР официальной наукой.

Ключевые слова: экологически безопасная энергетика, ядерный синтез, энергия связи, дейтерий, трансмутация, низкоэнергетическая ядерная реакция

EXPERIMENTAL RESEARCHS OF POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF LOW ENERGETIC NUCLEAR REACTIONS IN THE FUTURE ENERGETICS

[1]Tertyshnik E.G., [2]Epifanova I.E.

[1]Research and Production Association «Typhoon» of Roshydromet RF, Obninsk, e-mail: edtertysh23@yandex.ru;

[2]Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, e-mail: epifan.obninsk@gmail.com

This work is a review and analysis of successfully carried out experimental studies of Russian and foreign experts, giving a basis for confirming the existence of the phenomenon of low energy nuclear reactions (LERN), which occur at temperatures from 20 °C to 1400 °C, and for demonstration of possibility of obtaining the environmentally safe nuclear energy based on such nuclear reactions. A brief description of the existing general principles for obtaining nuclear energy, both by fusion of light nuclei and in the process of fission of heavy nuclei, is given. The absence of significant achievements in the creation of controlled thermonuclear fusion plants was noted. The promising advantages of energy based on low energy nuclear reactions, compared with modern nuclear energy, are shown: fuel reserves -hydrogen and deuterium on the Earth are practically inexhaustible. In addition, energy based on LERN is environmentally safety, and therefore it is possible to bring the energy producer closer to its consumer and thereby significantly reduce the cost of electricity. It was noted that the development of an adequate theory of low energy nuclear reactions and transmutation of elements at low temperatures is an important factor for mastering new technology in nuclear energy and for the final recognition of the LERN phenomenon as official science.

Keywords: environmental safe energy, nuclear fusion, binding energy, deuterium, transmutation, low energy nuclear reaction

Производство электроэнергии на АЭС и переработка отработавшего ядерного топлива связаны с образованием значительных объёмов радиоактивных отходов. Это обстоятельство, наряду с негативным отношением населения к ядерной энергетике, которое возникло из-за опасений повторения радиационных катастроф, подобных Чернобыльской, привело к тому, что ряд стран отказывается от развития ядерной энергетики.

Современная ядерная энергетика, использующая энергию, выделяющуюся при делении тяжёлых ядер (^{235}U и ^{239}Pu), имеет ограниченные запасы сырьевых ресурсов и сопровождается образованием больших объёмов долгоживущих радиоактивных отходов. Поэтому возможные перспективы ядерной энергетики основаны на получении энергии, которая освобождается при слиянии лёгких ядер (реакции ядерного синтеза) и ядерных реакциях, связанных с трансмутацией ядер.

Цель работы – привлечь внимание исследователей к проблеме использования

НЭЯР в энергетике, чтобы расширить круг инженеров и научных сотрудников, работающих над тематикой экологически чистой ядерной энергии.

Ядерная энергия (принцип получения)

В реакциях синтеза энергия выделяется при слиянии ядер легких элементов и образовании более тяжелых ядер. Например, при слиянии двух протонов (ядер водорода) образуется ядро дейтерия ($^2H = D$) и выделяется 2,2 МэВ энергии: $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu$. Подобные реакции широко распространены в природе – считается, что энергия звезд, и в том числе Солнца, производится в результате цепочки ядерных реакций синтеза, превращающих четыре ядра атома водорода в ядро гелия [1; 2].

Из-за наличия кулоновского отталкивания между ядрами сечения реакций при низкой энергии частиц ничтожно малы, и поэтому при обычной температуре смесь изотопов водорода и других легких атомов практически не реагирует. Для того чтобы реакция имела заметное сечение, сталкивающимся частицам нужно иметь большую кинетическую энергию. Тогда частицы смогут преодолеть кулоновский барьер, сблизиться на расстояние порядка ядерных и прореагировать. Например, максимальное сечение для реакции дейтерия с тритием достигается при энергии частиц около 80 КэВ, а для того чтобы в смеси DT иметь большую скорость реакций, ее температура должна быть масштаба ста миллионов градусов, $T = 10^8$ °К. Проблема получения ядерной энергии путём слияния лёгких ядер в условиях сверхвысоких температур, реализованная в виде установок (реакторов) управляемого термоядерного синтеза (УТС), до настоящего времени не решена [1; 2].

В мировом океане дейтроны (ядра дейтерия) постоянно образуются при захвате тепловых нейтронов свободными протонами: $n + p \rightarrow d + \gamma$. Рассчитаем энергию, выделяющуюся в этой реакции, используя табличные значения массы ядер нейтрона, протона и дейтрона, приведённые в [3]. В таблице масса ядер приводится в энергетических единицах (кэВ) согласно соотношению массы и энергии Эйнштейна: $E = mc^2$.

Масса нейтрона	8071 кэВ,
масса протона	7289 кэВ
Сумма	15360 кэВ
Масса ядра дейтрона	13136 кэВ

Энергия, полученная в результате реакции синтеза, 2224 кэВ (энергия на один нуклон – 1112 кэВ).

Для разделения ядра дейтрона на нейтрон и протон необходимо затратить точно такую энергию (2224 кэВ), поэтому эту величину называют энергией связи. На рис. 1 приведена зависимость энергии связи, рассчитанная на один нуклон, от массового числа ядра, из которого видно, что изотопы водорода являются наиболее эффективным топливом при использовании реакций ядерного синтеза [2].

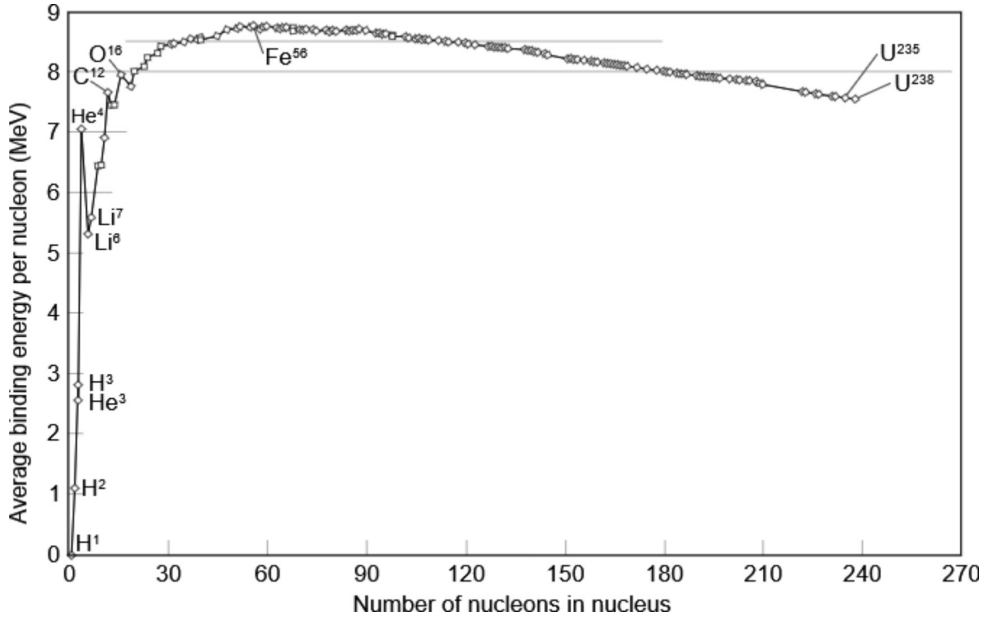


Рис. 1. Зависимость энергии связи (на один нуклон) от массового числа ядер

Эксперименты по изучению возможностей проведения реакций ядерного синтеза при низких температурах

В обзоре [4] описан эксперимент по разложению тяжелой воды электролизом на кислород и дейтерий: при этом в процессе растворения палладиевого катода в нем происходят реакции ядерного синтеза. Нейтронное излучение, так же так и радиоактивные отходы, при этом отсутствовало. Автор приведенной работы Филимоненко И.С. создал гидролизную энергетическую установку, предназначенную для получения энергии от реакций «теплого» ядерного синтеза, идущих при температуре всего 1150 °C. Реактор представлял собой металлическую трубу диаметром 41 мм и длиной 700 мм, изготовленную из сплава, содержавшего несколько граммов палладия. Топливом служил дейтерий, сорбированный палладием. Заявка на изобретение «Процесс и установка термоэмиссии» [5] была отклонена Государственной патентной экспертизой на том основании, что термоядерные реакции не могут идти при столь низкой температуре. Таким образом, приоритет открытия холодного ядерного синтеза (ХЯС) советским изобретателем не был зафиксирован. Интерес к проблеме ХЯС возник после публикации [6]: в работе М. Флейшмана и С. Понса сообщалось об обнаружении нового явления в науке – ядерного синтеза при комнатной температуре в процессе насыщения электролитическим путем палладия дейтерием при проведении электролиза в тяжелой воде с палладиевым катодом. При этом наблюдалось выделение избыточного тепла, рождение нейтронов и гамма-квантов, а также образование трития. Для возникновения ХЯС существенным является влияние кристаллической решетки насыщенного дейтерием металла (Pd, W, Pt), под воздействием которой величина кулоновского барьера снижается. Авторы [6] могли наблюдать результаты следующих реакций синтеза:

$p + D \rightarrow {}^3He + \gamma$ (5,5 МэВ) (i)

$D + D \rightarrow {}^3He$ (0,82) + n (2,45) (ii)

$D + D \rightarrow T$ (1,01) + p (3,02) (iii)

Надо отметить, что результаты [6] оказались плохо воспроизводимыми. В работе [7] выдвинуто предположение, что причина неудач исследователей, пытавшихся воспроизвести результаты [6], связана с тем, что для получения интенсивного выделения тепла [6] необходимо вести электролиз очень продолжительное время – 66 суток ($5{,}6 \cdot 10^6$с). Можно предположить, что наблюдаемое интенсивное выделение тепла связано с воздействием космического излучения, а время, в течение которого необходимо проводить электролиз для регистрации всплеска тепловыделения, определяется частотой возникновения широких атмосферных ливней в месте расположения установки. Только после того, как работы [6; 7] стали широко известны, Филимоненко И.С. удалось опубликовать свои результаты в сборнике, малодоступном для большинства учёных [8].

Описаны результаты эксперимента по инициированию реакции ХЯС в процессе ультразвуковой кавитации в тяжелой воде. Зарегистрирован достоверный (максимальное превышение над уровнем естественного фона 12σ) выход нейтронов как следствие инициированной реакции синтеза (ii) при кавитации суспензии мелкодисперсного дейтерида $LaNi_5D_{5,5}$. В то время как при ультразвуковом воздействии на тяжёлую воду, в которой отсутствовали взвеси, число зарегистрированных нейтронов не превышало фоновых значений [9].

Эксперименты по изучению возможности проведения низкотемпературной трансмутации ядер

Производство экологически чистой ядерной энергии возможно не только при ХЯС, но также в результате трансмутации ядер, имеющей место при сравнительно низких температурах – холодная трансмутация ядер (ХТЯ). В последнее время процессы ХЯС и ХТЯ объединяют термином «низкоэнергетические ядерные реакции» (Low Energy Nuclear Reactions – LENR). При трансмутации некоторый набор стабильных нуклидов переходит в другой наиболее энергетически выгодный набор стабильных нуклидов с выделением энергии, а также процессов взаимодействия ядер с электронами, позитронами и нейтрино [10].

В [11] описана работа теплогенератора Росси E-cat (Energy Catalyzer), в котором ядерная энергия генерируется как результат ХТЯ. В 2014 г. группа международных экспертов провела испытания варианта теплогенератора Росси. Как сообщается в отчёте об испытаниях [12; 13], устройство представляет собой керамическую трубку (Al_2O_3), внутри которой помещено топливо – смесь 1 г порошка никеля 0.1 г алюмогидрида лития ($LiAlH_4$) с намотанной на её поверхности нагревательной спиралью. С помощью этой спирали трубка с топливом нагревалась до 1260–1400 °C. В процессе тестирования вёлся контроль количества электроэнергии, затраченной на нагрев, и количества тепловой энергии, генерированной установкой. Указано,

что в течение 32 суток испытаний устройство произвело 5800 Мдж тепла, что более чем в 3 раза превышало энергию, израсходованную на электроподогрев. Отработавшее топливо подвергли масс-спектрометрическим анализам, которые обнаружили существенные изменения в изотопном составе топлива, однозначно свидетельствующие о ядерном происхождении полученной энергии. На основании данных [11; 12] в работе [14] показано, что ядерная энергия, генерируемая E-cat, обусловлена трансмутацией ядер ^{58}Ni в ^{62}Ni, а затраченная на нагрев энергия равна энергии, необходимой для преобразования ^{7}Li в ^{6}Li и превращения протонов (ядер водорода) в нейтроны. Делается вывод [14] о соблюдении закона сохранения энергии при работе тестируемого устройства. Но соблюдения закона сохранения недостаточно для адекватного объяснения функционирования теплогенератора Росси. Возможно, как и в рассмотренных ранее экспериментах, существенным является взаимодействие протонов с кристаллической решёткой никеля, которое позволяет превращать протоны в нейтроны путём обратного бета-процесса с участием электронов и нейтрино [10].

Сообщается о создании российскими учёными никель-водородного реактора, непрерывно проработавшего 7 месяцев [15]. В отличие от устройства Росси [11], в котором применялся твёрдотельный источник протонов ($LiAlH_4$) и нейтронов (^{7}Li), в этом теплогенераторе в качестве источника протонов использовался газообразный водород, сорбированный никелем. В результате улучшилась стабильность работы, но существенно снизилась (более чем в 8 раз) мощность устройства. Отметим, что изотопный состав никеля в отработавшем топливе не изменился, а в поверхностном слое керамической трубки, соприкасающемся с порошком никеля, появились значительные количества кальция и кремния [15]. Это может свидетельствовать о реакциях $p + {}^{27}AL = {}^{28}Si + 116$ keV и $p + {}^{41}K = {}^{42}Ca + 40{,}6$ keV, в результате протекания которых генерируется тепло.

В установке «Энергонива», созданной в 1994 г. в Магнитогорском государственном техническом университете [16], поток воды пропускался через область плазменного высокочастотного разряда, и в результате синтезировались новые элементы. Скорость их образования составляла порядка кг/мин [17]. Принципиальная схема основного элемента установки – реактора приведена на рис. 2.

При пропускании потока воды со скоростью 0,2…0,8 м/с через медные трубчатые электроды (2 и 3), в зазоре между которыми формировали плазменное образование в виде пленки (1), на выходе реактора наблюдалось выпадение из потока воды порошка, который содержал новые элементы (в основном железо). Эти элементы нерадиоактивны. При работе установки также не зафиксированы радиоактивные излучения. Инициация процесса производилась с помощью импульсных электродов, изготовленных из медных стержней диаметром 3…8 мм и длиной 5…10 м (6). В работе [18] отмечено, что применялось не 2, а 4 электрода, расположенных под углом 90°. Поверх диэлектрического корпуса реактора (4) размещалась катушка (5), с помощью которой создавалось магнитное поле в разрядном промежутке. Кроме того, индуктивность этой катушки вместе с паразитной ёмкостью формировали колебательный контур, определяющий частоту следования генерируемых импульсов (20–30 МГц).

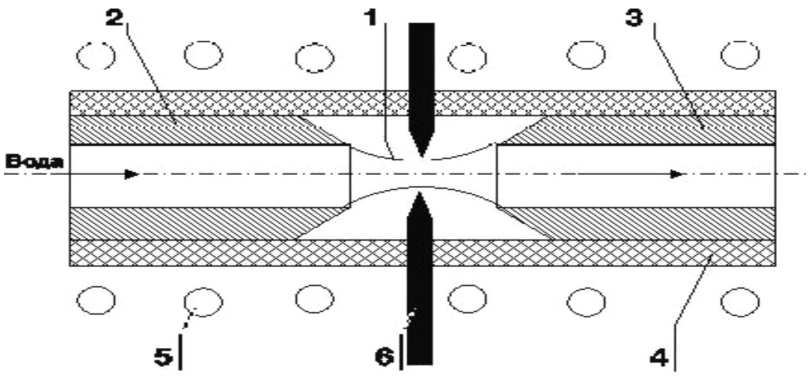


Рис. 2. Схема реактора: 1 – область разряда; 2 – верхний трубчатый электрод; 3 – нижний трубчатый электрод; 4 – корпус реактора; 5 – катушка (индуктор); 6 – импульсные электроды

Выход твёрдых продуктов в установке «Энергонива-2» в зависимости от диаметра трубчатых электродов [15]

D, мм	10	15	20	25	32	40	52
Выход, г/мин	90	180	270	450	720	1080	1800

Выход новых элементов, полученных на установке «Энергонива-2», в зависимости от диаметра D трубчатых электронов приведён в таблице.

Использовались два режима работы установки: металлургический и энергетический. Первый, с приоритетом получения металлического порошка, и второй – получение электрической энергии. При синтезе металлического порошка вырабатывалась электрическая энергия, которая отводилась от установки. Количество электрической энергии оценивалось примерно до 3 МВтч на 1 $м^3$ воды и зависело от режима работы установки, диаметра реактора D и количества наработанного порошка. Отмечено, что «Энергонива-2» работала в автономном режиме около 2 суток.

После смерти создателя установки Вачаева А.В. в 2000 г. сотрудники института не смогли запустить его установку. Ноу-хау запуска до сегодняшнего дня исследуется в лабораториях [18]. Можно предположить скрытое применение источника ионизирующего излучения (ИИИ) для создания ионизации в разрядном промежутке реактора при запуске процесса – официальное разрешение на использование ИИИ большой активности связано с определенными сложностями.

В лаборатории физического факультета МГУ исследователем А.А. Корниловой был выполнен ряд экспериментов, однозначно свидетельствующих о трансмутации стабильных и радиоактивных нуклидов в растущих биологических системах. Её соавтор профессор Киевского национального университета В.И. Высоцкий предложил теоретическое обоснование возможности протекания низкоэнергетических ядерных реакций (НЭЯР) при комнатной температуре с позиций квантовой теории когерентных коррелированных состояний [19–22]. Использование биологической трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов (например, ^{137}Cs) для снижения активности жидких радиоактивных отходов, предложенное авторами, на наш взгляд, в настоящее время проблематично из-за существенного снижения скорости биологической трансмутации со временем.

Результаты работ [22–24] могут существенно приблизить реализацию ядерной энергетики на основе НЭЯР. С помощью установки, схема которой приведена на рис. 3, исследовалась генерация рентгеновского излучения [23], связанная с процессами кавитации и последующим возбуждением ударных волн. Вода под давлением 250 атм через сопло подавалась в кавитационную камеру (1), на внешней (наружной) поверхности мишени (2) регистрировался интенсивный поток рентгеновского излучения (3). Из кавитационной камеры вода отводилась через патрубок (4). Характеризуя поток рентгеновского излучения, авторы ошибочно использовали единицу радиоактивности (0,1 Ки). Продолжение исследований с использованием кавитационной камеры (рис. 3) позволило установить, что при определённых условиях наряду с рентгеновским излучением на внешней поверхности мишени в воздухе генерируются незатухающие температурные волны [23; 24].

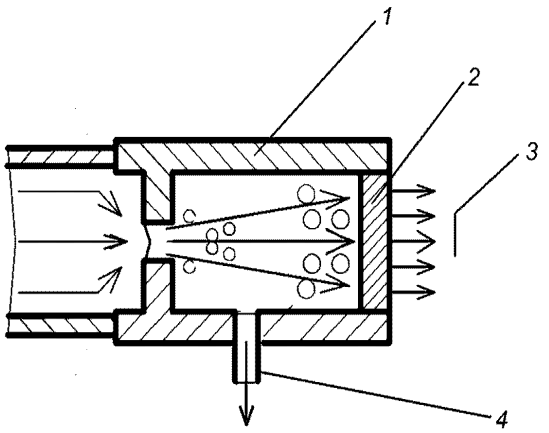


Рис. 3. Схема установки для генерации рентгеновского излучения и незатухающих тепловых волн при кавитации струи воды в камере: 1 – стенка кавитационной камеры; 2 – мишень (из молибдена или вольфрама); 3 – поток рентгеновских квантов; 4 – выход воды из камеры

В работе [25] впервые обнаружено, что при воздействии высокочастотных незатухающих тепловых волн на дейтерированный поликристаллический образец титана происходит устойчивая управляемая генерация альфа-частиц в результате реакций

синтеза с участием дейтерия при комнатной температуре.

Энергетика, основанная на НЭЯР, имела бы важные преимущества. Топливо – водород или дейтерий – получают известными методами из обычной воды, запасы которой в океанах и морях практически неисчерпаемы. Природных ресурсов используемых металлов хватит на миллионы лет [26]. Эта энергетика экологически безопасна. Появляется возможность приблизить производителей энергии и потребителей и существенно снизить стоимость энергии.

Необходимым условием овладения новой технологией и окончательным признанием НЭЯР официальной наукой является создание адекватной теории НЭЯР и трансмутации элементов. Для появления такой теории, вероятно, потребуется смена парадигм [27] ядерной физики.

Заключение

Ядерная энергетика, основанная на делении тяжёлых ядер, исчерпала перспективы дальнейшего развития из-за проблем возрастания объема радиоактивных отходов и ограниченных запасов ядерного топлива. Поэтому изучение возможностей использования альтернативных источников энергии, в частности энергии, основанной на реакциях ядерного синтеза при низких температурах, является актуальной задачей для современной науки.

Попытки воспроизвести в земных условиях реакции термоядерного синтеза, которые происходят в недрах звёзд при сверхвысоких температурах и давлениях, продолжаются без видимого успеха длительное время и требуют затрат космического масштаба.

На основании изложенных выше материалов можно предположить, что в ближайшие десятилетия начнётся производство энергии с помощью НЭЯР в промышленных масштабах.

Список литературы

1. Сазонов А.Б. Ядерная физика. М.: Юрайт, 2019. 320 с.

2. Бекман И.Н. Ядерные технологии. М.: Юрайт, 2018. 404 с.

3. Справочные данные по энергии связи ядер.The 2012 Atomic Mass Evaluation. [Электронный ресурс]. URL: https://www-nds.iaea.org/amdc/ame2016/mass16.txt (дата обращения: 22.05.2020).

4. Просвирнов А.А., Ратис Ю.Л. Сомнений не осталось, LERN существует // Атомная стратегия. 2013. № 11. [Электронный ресурс]. URL: http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4921 (дата обращения: 22.05.2020).

5. Филимоненко И.С. Процесс и установка термоэмиссии. Приоритетная справка №717239/38 от 27.07.1962. [Электронный ресурс]. URL: http://vkist.ru/holodnij-sintez-filimonenko/index4.html (дата обращения: 22.05.2020).

6. Fleischmann M., Pons S. Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium. The Journal of Electroanalytical Chemistry. 1989. V. 261 (2a). P. 301−308.

7. Fleischmann M., Pons S., Anderson M.W., Lian Jun Li and Hawkins M. Calorimetry of the palladium-deuterium-heavy water system. The Journal of Electroanalytical Chemistry. 1990. V. 287. P. 293.

8. Филимоненко И.С. Демонстрационная термоэмиссионная установка для ядерного синтеза // Перестройка Естествознания-92: материалы III науч. симпозиума. Волгодонск, Россия, 17–19 апреля 1992 г.

9. Липсон А.Г., Дерягин В.В., Клюев В.А., Топоров Ю.П., Сиротюк М.Г., Хаврошкин О.Б., Саков Д.М. Инициирование ядерных реакций синтеза при кавитационном воздействии на дейтерийсодержащие среды // Журнал технической физики. 1992. Т. 62. № 12. С. 121−130.

10. Пархомов А.Г. Многообразие нуклидов, возникающих в процессе холодных ядерных трансмутаций с участием электронов // Журнал формирующихся направлений науки. 2018. № 21–22 (6). С. 131–132.

11. Focardi S., Rossi A. A new energy source from nuclear fusion. Journal of Nuclear Physics. 2010. [Электронный ресурс]. URL: www.journal-of-nuclear-physics.com (дата обращения: 22.05.2020).

12. Levi G., Forchi E., Essen H. Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel. P. 53. [Электронный ресурс]. URL: http://www.sifferkoll.se/sifferkoll/wp-cocntent/uploads/2014/10/LuganoReportSubmit.pdf (дата обращения: 22.05.2020).

13. Пархомов А.Г. Отчёт международной комиссии об испытании высокотемпературного теплогенератора Росси // Журнал формирующихся направлений науки. 2014. № 6 (2). С. 57–61.

14. Тертышник Э.Г., Епифанов А.О., Епифанова И.Э. Анализ некоторых аспектов испытаний теплогенератора Росси // Актуальные вопросы науки: материалы 39 Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: АЭТЕРНА. 2018. С. 204–209.

15. Пархомов А.Г., Жигалов В.А., Забавин С.Н., Соболев А.Г., Темирбулатов Т.Р. Никель-водородный реактор, непрерывно проработавший 7 месяцев // Журнал формирующихся направлений науки. 2019. № 23–24 (7). С. 57–63.

16. Вачаев А.В., Иванов Н.И., Иванов А.Н., Павлова Г.А. Способ получения элементов и устройство для его осуществления. Патент РФ №2096846, МКИ G21 G1/100, H05 H1/24. Заявл. 31.05.94 // Изобретения, 1997. № 32. С. 369.

17. Балакирев В.Ф., Крымский В.В., Болотов Б.В., Васильева Н.В., Вачаев А.В., Иванов Н.И., Казбанов В.И., Павлова Г.А., Солин М.И., Уруцкоев Л.И. Взаимопревращения химических элементов. Екатеринбург: УРО РАН, 2003. 92 с.

18. Хрищанович А.П. Технологический процесс в установке «Энергонива», описанный в книге В.Ф. Балакирева и В.В. Крымского «Взаимопревращения химических элементов». [Электронный ресурс]. URL: www.model exp-lenta: http://koledj.ru/docs/index-7909.html (дата обращения: 22.05.2020).

19. Высоцкий В.И., Корнилова А.А. Ядерные реакции и трансмутация изотопов в биологических системах (предыстория, текущее состояние и перспективы) // Журнал формирующихся направлений науки. 2017. № 17–18 (5). С. 34–42.

20. Vysotskii V.I., Vysotskyy M.V. Coherent correlated states of interacting particles – the possible key to paradoxes and features LENR. Current Science. 2015. V. 108. № 4. P. 52–530

21. Vysotskii V.I., Vysotskyy M.V., Bertalucci S. Features of the Formation of Correlated Coherent States and Nuclear Fusion Induced by the Interaction of Slow Particles with Crystals and Free Moleculesto. Journal of Experimental and Theoretical Physics. 2018. V. 127(3). P. 479−490.

22. Высоцкий В.И., Василенко А.О., Василенко В.Б., Высоцкий М.В. Неравновесные тепловые эффекты при импульсном воздействии на проводящие среды // Физика и химическая обработка материалов. 2014. № 1. С. 5–11.

23. Высоцкий В.И., Василенко А.О., Василенко И.Б. Генерация и распространение незатухающих температурных волн при импульсном воздействии на поверхность мишени // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. № 4. С. 68–75.

24. Высоцкий В.И., Корнилова А.А., Василенко А.О., Томак В.И. Обнаружение и исследование незатухающих температурных волн, возбуждаемых при кавитации струи воды // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. № 11. С. 106–112.

25. Корнилова А.А., Высоцкий В.И., Сапожников Ю.А., Власова И.Э., Гайдамака С.Н., Новакова А.А., Авдюхина В.М., Левин И.С., Высоцкий М.В., Хайт Е.И., Волкова Н.Х.. Проблема и реализация устойчивой генерации альфа-частиц дейтерированным титаном, находящимся в поле тепловой волны // Инженерная физика. 2018. № 5. С. 13–22.

26. Киркинский В.А. Холодный ядерный синтез и трансмутации элементов: эксперименты, теория, патенты, природные проявления. «Холодному синтезу – 30 лет: итоги и перспективы». [Электронный ресурс]. URL: https://regnum.ru/news/innovatio/2631134.html (дата обращения: 22.05.2020).

27. Кун Т. Структура научных революций. М.: АСТ, 2009. 310 с.

СТАТЬИ

УДК 532.516

СТАЦИОНАРНОЕ ОБТЕКАНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ САМОДВИЖУЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА

[1,2]Сенницкий В.Л., [1,2]Гребнева В.А.

[1]Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;

[2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, e-mail: sennitskii@yandex.ru

Рассмотрена задача о стационарном обтекании не ограниченной извне вязкой жидкостью твердого бесконечно длинного цилиндрического тела. Граница тела проницаема для жидкости. Течение жидкости является плоским. Тело может совершать (или не совершать) самодвижение в жидкости, обусловленное протеканием (втеканием и вытеканием) жидкости через его границу. Постановка полной задачи включает в себя уравнения самодвижения тела (части тела конечной длины), уравнения Навье – Стокса и неразрывности и условия, которые должны выполняться на твердой границе жидкости и на бесконечности. Изучение задачи проведено для малых по сравнению с единицей значений числа Рейнольдса, в приближении Стокса. Установлено, что решение задачи о течении жидкости существует, характерный парадокс Стокса отсутствует тогда и только тогда, когда тело является самодвижущимся. Найдено решение задачи о стационарном обтекании вязкой жидкостью самодвижущегося цилиндрического тела в приближении Стокса. Осуществление телом самодвижения в жидкости соответствует тому, что, находясь в жидкости, тело перемещается, отталкиваясь от нее. Самодвижение в жидкости могут совершать живые организмы, технические устройства (рыбы, подводные аппараты). Исследованиями обтекания жидкостью самодвижущихся тел определяется актуальное направление в механике жидкости.

Ключевые слова: вязкая жидкость, стационарное плоское течение, самодвижущееся цилиндрическое тело, парадокс Стокса

STATIONARY FLOW OF A VISCOUS LIQUID PAST A SELF-MOVING CYLINRICAL BODY

[1,2]Sennitskiy V.L., [1,2]Grebneva V.A.

[1]Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk;

[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, e-mail: sennitskii@yandex.ru

The problem is considered on a stationary flow of an unbounded from outside viscous liquid past a solid endless cylindrical body. The boundary of the body is pervious for the liquid. The flow of the liquid is flat. The body can perform (or not perform) a self-motion in the liquid caused by passing (an inflow and an outflow) of the liquid through its boundary. The formulation of the full problem includes the equations of the self-motion of the body (the body part of a finite length), the equations of Navier–Stokes and a continuity and conditions which must be fulfilled at the solid boundary of the liquid and at infinity. The study of the problem is conducted for the meanings of the Reynolds number which are small in compare with unit, in the Stokes approximation. It is revealed that the solution of the liquid flow problem exists, the characteristic Stokes paradox is absent then and only then when the body is self-moving. The solution is found of the problem on the stationary flow of the viscous liquid past the self-moving cylindrical body in the Stokes approximation. The realization of a body self-motion in a liquid corresponds to that the body being in the liquid moves by pushing off from it. A self-motion in a liquid can be performed by living things, technical devices (fishes, underwater apparatuses). The investigations of a liquid flow past self-moving bodies determine an actual direction in fluid mechanics.

Keywords: viscous liquid, stationary flat flow, self-moving cylindrical body, paradox of Stokes

В работе [1] сформулирована концепция самодвижения тела в жидкости. Находящееся в жидкости тело совершает в ней самодвижение, если движение тела является следствием того, что тело отталкивается от жидкости. Самодвижение тела в жидкости происходит за счет взаимодействия между его границей и жидкостью (но не вследствие каких-либо воздействий на жидкость, которые могут осуществляться и в отсутствие в ней тела). Ввиду этого граница самодвижущегося тела является его движителем. Работа движителя при самодвижении соответствует тому, что на границе тела обеспечиваются условия, при которых выполняются уравнения самодвижения тела в жидкости.

Исследования, направленные на выявление закономерностей течения жидкости вокруг самодвижущихся тел, неизменно сохраняют актуальность. В работах [2, 3] выполнено моделирование течения жидкости в следе за телом; работы [4, 5] посвящены рассмотрению течения жидкости вокруг вращающегося тора. В основном интерес представляет движение вязкой жидкости. Задачи, касающиеся динамики вязкой жидкости, как правило, характеризуются повышенным уровнем сложности. Весомым дополнительным препятствием в их изучении является парадокс Стокса. Данный парадокс состоит в том, что решение задачи о плоском течении не ограниченной извне, покоящейся на бесконечности вязкой жидко-

сти вокруг твердого цилиндрического тела, движущегося в ней с постоянной скоростью – равно как и решение эквивалентной задачи о стационарном обтекании твердого цилиндрического тела вязкой жидкостью – при малых значениях числа Рейнольдса, в приближении Стокса не существует.

Главной целью настоящей работы является установление связи между самодвижением твердого цилиндрического тела в вязкой жидкости и парадоксом Стокса.

В вязкой несжимаемой не ограниченной извне жидкости находится твердое тело Ξ – бесконечно длинный круговой цилиндр радиуса A. Тело Ξ покоится относительно инерциальной прямоугольной системы координат X, Y, Z. Жидкость на бесконечности движется с постоянной скоростью $\mathbf{V}_\infty = \{V_\infty, 0, 0\}$ ($V_\infty > 0$). Граница тела Ξ – цилиндрическая поверхность Γ_Ξ: $X^2 + Y^2 = A^2$ ($-\infty < Z < \infty$) – проницаема для жидкости. Течение жидкости является стационарным, плоским и симметричным относительно плоскости $Y = 0$. Тело Ξ может совершать (или не совершать) самодвижение в жидкости, обусловленное протеканием (втеканием и вытеканием) жидкости через поверхность Γ_Ξ. Самодвижение тела Ξ относительно жидкости на бесконечности происходит со скоростью $-\mathbf{V}_\infty$.

Пусть $x = X/A$; $y = Y/A$; $z = Z/A$; $\mathbf{e}_x = \{1, 0, 0\}$; $\mathbf{e}_y = \{0, 1, 0\}$; $\mathbf{e}_z = \{0, 0, 1\}$; $\mathbf{r} = x\mathbf{e}_x + y\mathbf{e}_y$; $r = |\mathbf{r}|$; $\mathbf{e}_r = \mathbf{r}/r$; θ – угол между векторами $\mathbf{e}_x$ и $\mathbf{e}_r$; $\mathbf{e}_\theta = \mathbf{e}_z \times \mathbf{e}_r$; ξ – часть тела Ξ, «вписанная» между плоскостями $Z = -H/2$ и $Z = H/2$ ($H > 0$ – постоянная); $h = H/A$; Γ_ξ – боковая поверхность тела ξ; $\mathbf{V}$, ρ и ν – соответственно скорость, плотность и кинематический коэффициент вязкости жидкости; $\mathbf{v} = \mathbf{V}/V_\infty = v_r\mathbf{e}_r + v_\theta\mathbf{e}_\theta$; P – давление в жидкости; $p = P/(\rho V_\infty^2)$; $\mathrm{Re} = AV_\infty/\nu$ – число Рейнольдса; $\varphi = \varphi(\theta, \mathrm{Re}) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n \cos n\theta$ ($\varphi_n = \varphi_n(\mathrm{Re})$); $\mathbf{S}$ – поток импульса жидкости через поверхность Γ_ξ в тело ξ (импульс, передаваемый жидкостью телу ξ в единицу времени); $\mathbf{T}$ – поток момента импульса жидкости относительно начала координат X, Y, Z через поверхность Γ_ξ в тело ξ (момент импульса, передаваемый жидкостью телу ξ в единицу времени, относительно начала координат X, Y, Z);

$$p_{rr} = -p + \frac{2}{\mathrm{Re}}\frac{\partial v_r}{\partial r};\ p_{r\theta} = \frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial \theta}\right);$$

$$\mathbf{s} = \frac{\mathbf{S}}{\rho V_\infty^2\ AH} = \int_{-\pi}^{\pi} \left(p_{rr}\mathbf{e}_r + p_{r\theta}\ \mathbf{e}_\theta - v_r\mathbf{v}\right)\Big|_{r=1} d\theta;$$

$$\mathbf{t} = \frac{\mathbf{T}}{\rho V_\infty^2\ A^3} = \int_{-\pi}^{\pi}\int_{-h/2}^{h/2} \left(\mathbf{e}_r + z\mathbf{e}_z\right) \times \left(p_{rr}\mathbf{e}_r + p_{r\theta}\ \mathbf{e}_\theta - v_r\mathbf{v}\right)\Big|_{r=1} dz\, d\theta.$$

Определим следующую – полную – задачу

$$\mathbf{s} = 0; \tag{1}$$

$$\mathbf{t} = 0 \tag{2}$$

– уравнения самодвижения тела Ξ (тела ξ) в жидкости;

$$(\mathbf{v}\cdot\nabla)\mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{\mathrm{Re}}\Delta\mathbf{v}; \tag{3}$$

$$\nabla\cdot\mathbf{v} = 0 \tag{4}$$

– уравнения Навье – Стокса и неразрывности;

$$\mathbf{v} = \varphi\mathbf{e}_r \text{ при } r = 1; \tag{5}$$

$$\mathbf{v} \to \mathbf{e}_x \text{ при } r \to \infty \tag{6}$$

– условия на твердой границе жидкости и на бесконечности.

Согласно (1), (2) имеем

$$f + g = 0, \tag{7}$$

где

$$f = \frac{F}{\rho V_\infty^2 \, AH} = \int_{-\pi}^{\pi} \left(p_{rr} \cos\theta - p_{r\theta} \sin\theta \right)_{|r=1} d\theta \tag{8}$$

(F – сила, действующая со стороны жидкости на тело ξ в направлении оси X);

$$g = \int_{-\pi}^{\pi} \left[v_r \left(v_\theta \sin\theta - v_r \cos\theta \right) \right]_{|r=1} d\theta.$$

Тело Ξ является самодвижущимся (в жидкости) тогда и только тогда, когда выполняется уравнение (7).

Будем рассматривать задачу (3)–(7) при малых по сравнению с единицей значениях Re.

Предположим, что

$$\varphi_n \sim \varphi'_n \ (n = 1, 2, \ldots), \ \varphi \sim \varphi' = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi'_n \cos n\theta,$$

$$\mathbf{v} \sim \mathbf{v}' = v'_r \mathbf{e}_r + v'_\theta \mathbf{e}_\theta, \ p \sim \frac{1}{\mathrm{Re}} p' \text{ при } \mathrm{Re} \to 0. \tag{9}$$

Согласно (8), (9) имеем

$$f \sim \frac{1}{\mathrm{Re}} f' \text{ при } \mathrm{Re} \to 0. \tag{10}$$

Здесь

$$f' = \int_{-\pi}^{\pi} \left[\left(-p' + 2 \frac{\partial v'_r}{\partial r} \right) \cos\theta - \left(\frac{\partial v'_\theta}{\partial r} - \frac{v'_\theta}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v'_r}{\partial \theta} \right) \sin\theta \right]_{|r=1} d\theta. \tag{11}$$

Используя (3)–(7), (9), (10), получим

$$f' = 0 \tag{12}$$

– уравнение самодвижения тела Ξ (тела ξ) в жидкости в приближении Стокса;

$$\Delta \mathbf{v}' = \nabla p'; \tag{13}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v}' = 0; \tag{14}$$

$$v' = \varphi' \mathbf{e}_r \text{ при } r = 1; \tag{15}$$

$$v' \to \mathbf{e}_x \text{ при } r \to \infty \tag{16}$$

– задача о течении жидкости в приближении Стокса.

Пусть

$$\omega = \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{e}_z = \frac{\partial v'_\theta}{\partial r} + \frac{v'_\theta}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial v'_r}{\partial \theta} \tag{17}$$

($\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{v}'$ – безразмерная завихренность жидкости в приближении Стокса).

Используя (13), (14), преобразуем формулу (11) к виду

$$f' = \int_{-\pi}^{\pi} \left(\frac{\partial}{\partial r} \frac{\omega}{r} \right)_{|r=1} \sin\theta \, d\theta \ . \tag{18}$$

В соответствии с (14)–(17) выполняются соотношения

$$v'_r\, v = \frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial\theta},\ v'_\theta = -\frac{\partial\psi}{\partial r}; \tag{19}$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial r} = 0,\ \frac{\partial\psi}{\partial\theta} = \varphi' \text{ при } r = 1; \tag{20}$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial r} \to \sin\theta,\ \frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial\theta} \to \cos\theta \text{ при } r \to \infty; \tag{21}$$

$$\Delta\psi = -\omega \tag{22}$$

(ψ – безразмерная функция тока жидкости в приближении Стокса).

Из (13) следует

$$\Delta\omega = 0. \tag{23}$$

Решая уравнение (23), найдем

$$\omega = \sum_{n=1}^{\infty}\left(\alpha_n\, r^{-n} + \beta_n r^n\right)\sin n\theta, \tag{24}$$

где α_n, β_n – постоянные.

Используя (18), (24), получим

$$f' = -2\pi\alpha_1. \tag{25}$$

Согласно (25) уравнение (12) выполняется, тело Ξ является самодвижущимся (в жидкости) тогда и только тогда, когда $\alpha_1 = 0$.

Обратимся к задаче (20), (22), (24). Решая данную задачу, принимая во внимание соотношение (25), найдем

$$\psi = \frac{1}{4}\left\{\left[\left(\frac{f'}{2\pi} - \frac{\beta_1}{2} + 2\varphi'_1\right)r^{-1} - \left(\frac{f'}{2\pi} - \beta_1 - 2\varphi'_1\right)r + \frac{f'}{\pi}\, r\ln r - \frac{\beta_1}{2}\, r^3\right]\sin\theta - \right.$$

$$\left. \sum_{n=2}^{\infty}\frac{1}{n}\left[\left(\alpha_n + \frac{\beta_n}{n+1} - 2\varphi'_n\right)r^{-n} + \left(\frac{\alpha_n}{n-1} - \beta_n - 2\varphi'_n\right)r^n - \frac{n\alpha_n}{n-1}r^{2-n} + \frac{n\beta_n}{n+1}\, r^{2+n}\right]\sin n\theta\right\}. \tag{26}$$

Пусть тело Ξ не является самодвижущимся (уравнение самодвижения (12) не выполняется). Тогда функция ψ (определяемая формулой (26)) не удовлетворяет условиям (21) ни при каких значениях постоянных $\alpha_m (m = 2,3,\ldots)$, $\beta_n (n = 1,2,\ldots)$ ввиду присутствия в правой части (26) слагаемого $(4\pi)^{-1} f' r \ln r \sin\theta$, решение задачи (13)–(16) не существует.

Пусть тело Ξ является самодвижущимся (уравнение самодвижения (12) выполняется). Используя (21), (26), найдем

$$\alpha_m = 2(m-1)\varphi'_m\,(m = 2, 3,\ldots),\ \beta_n = 0\,(n = 1, 2,\ldots);$$

$$\psi = \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}\varphi'_n\left(\frac{2-n}{n}\, r^{-n} + r^{2-n}\right)\sin n\theta. \tag{27}$$

Здесь $\varphi'_1 = 2$. Из (13), (19), (27) следует

$$p' = 2\sum_{m=2}^{\infty}(m-1)\,\varphi'_m\, r^{-m}\cos m\theta + c, \tag{28}$$

где c – функция времени. Задача (13)–(16) имеет решение (19), (27), (28).

Таким образом, решение плоской задачи о стационарном обтекании не ограниченной извне вязкой жидкостью твердого цилиндрического тела, при малых значениях числа Рейнольдса (в приближении Стокса) существует – парадокс Стокса отсутствует – тогда и только тогда, когда обтекаемое жидкостью тело является самодвижущимся. Отметим, что данный результат получен ранее в работе [6] для твердого цилиндрического тела с движущейся границей.

Заключение

Выявление закономерностей совместного движения твердых тел и вязкой жидкости в различных гидромеханических условиях является одной из важнейших проблем механики жидкости. В связи с этим может представлять существенный интерес проведенное в данной работе рассмотрение, указывающее, в частности, на наличие нетривиального подхода, позволяющего обойти парадокс Стокса, избежать его возникновения. Изложенное в настоящей работе может использоваться в исследованиях в области механики жидкости, в том числе при поиске и изучении новых содержательных задач о плоских течениях вязкой жидкости вокруг твердых цилиндрических тел.

Список литературы

1. Сенницкий В.Л. О самодвижении тела в жидкости // Прикладная механика и техническая физика. 1990. № 2. С. 111–118.

2. Деменков А.Г., Черных Г.Г. Численное моделирование вырождения закрученного турбулентного следа за самодвижущимся телом // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23. № 5. С. 693–702.

3. Деменков А.Г., Черных Г.Г. Численное моделирование динамики закрученного безымпульсного турбулентного следа // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23. № 5. С. 37–48.

4. Moshkin N.P., Suwannasri P. Self-propelled motion of a torus rotating about its centerline in a viscous incompressible liquid. Phys. Fluids. 2010. V. 22. P. 113602–1–113602–9.

5. Moshkin N.P., Suwannasri P. Two regimes of self-propelled motion of a torus rotating about its centerline in a viscous incompressible liquid at intermediate Reynolds numbers. Phys. Fluids. 2012. V. 24. P. 053603–1–053603–11.

6. Сенницкий В.Л. О течении жидкости вокруг самоходного тела // Прикладная механика и техническая физика. 1978. № 3. С. 76–83.