

**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 = 0,686
Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,349

№ 12 2018
Часть 1
Научный журнал
Scientific journal

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

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,686.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,349.

Учредитель, издательство и редакция:
НИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47.

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

Подписано в печать 20.12.2018
Дата выхода номера 20.01.2019

Формат 60x90 1/8
Типография
НИЦ «Академия Естествознания»
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 22,5
Тираж 500 экз.
Заказ МЖПиФИ 2018/12

© НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

КАВИТАЦИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД <i>Сизых М.Р., Батоева А.А., Асеев Д.Г.</i>	9
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ: ВОДНЫХ ДВИЖУЩИХ УСТРОЙСТВ, ВИНТОРУЛЕВЫХ КОЛОНОК СУДОВ, ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ, РАЗМАЛЫВАЮЩИХ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МОРСКИХ СУДОВ, ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И БЕРЕГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ <i>Уразов Ф.Ф., Данцевич И.М., Осьмуха С.А., Неццетный Н.С.</i>	15

Физико-математические науки

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА В КРИСТАЛЛАХ HgSE:CO ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ТОКА ХОЛЛА <i>Лончаков А.Т., Бобин С.Б., Дерюшкин В.В., Окулов В.И., Говоркова Т.Е.</i>	20
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЛАМИНАТНЫХ СТРУКТУРАХ FeCoGa/Metglas/LGT С ТОНКОПЛЕНОЧНЫМИ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМИ СЛОЯМИ <i>Носов А.П., Грибов И.В., Москвина Н.А., Дружинин А.В., Осотов В.И.</i>	26

Химические науки

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ As ₂ Te ₃ -In ₂ Te ₃ <i>Алиев И.И., Ахмедова Дж.А., Шафагатова Г.Г.</i>	31
СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ И ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНИЛБЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА <i>Некрасова Л.П.</i>	36

Медицинские науки

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА И ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ У УЧАЩИХСЯ КОЛЛЕДЖА РАЗЛИЧНЫХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ <i>Кононец И.Е., Калыкеева А.А.</i>	42
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРИДОВ В МОЧЕ <i>Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Шаяхметов С.Ф.</i>	47
ВЛИЯНИЕ ГЛЮКОКОРТИКОИДОВ НА ФУНКЦИЮ НЕБНЫХ МИНДАЛИН И ПЕРИФЕРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРОВИ <i>Насыров М.В., Бакиева К.К.</i>	51

Биологические науки

РОЛЬ АННЕЛИД (ANNELIDA) В ОЗЕРАХ НАРОЧАНСКОЙ СИСТЕМЫ (БЕЛАРУСЬ) <i>Батурина М.А., Макаревич О.А., Кайгородова И.А., Жукова Т.В., Адамович Б.В.</i>	56
ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЦИАНОБАКТЕРИИ SYNECHOCYSTIS SP. PCC 6803 В ПРИСУТСТВИИ ТОКСИКАНТА И СТИМУЛЯТОРА РОСТА В СРЕДЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ <i>Даллакян Г.А., Агеева И.В.</i>	60

БИОЛОГИЯ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЛОТВЫ (RUTILUS RUTILUS LINNAEUS, 1758) ОЗЕР КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА	
<i>Дворянкин Г.А.</i>	65
МЕХАНИЗМЫ РАСПЛАСТЫВАНИЯ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА	
<i>Ковалева А.В., Творогова А.В., Саидова А.А.</i>	70
ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА СООБЩЕСТВА ДНЕВНЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ БЕРЕГОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА	
<i>Малков П.Ю.</i>	80
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ К СТАРЕНИЮ, ЗАСУХЕ И ЗАСОЛЕНИЮ	
<i>Мамедова С.А., Ибрагимова З.Ш., Алиев Р.Т.</i>	84
ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИКА «БИО-20» НА ПОКАЗАТЕЛИ ФАГОЦИТАРНОЙ И БАКТЕРИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙТРОФИЛОВ КОРОВ И ТЕЛЯТ	
<i>Масалов В.Н., Ляхова О.Л., Сысоева Л.А.</i>	88
САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ ВОДОЕМОВ В МЕСТАХ РЕКРЕАЦИИ	
<i>Михеев П.В.</i>	93
ПРОТЕАЗЫ КАК ВЕРОЯТНЫЕ ФАКТОРЫ РЕГУЛЯЦИИ КОНКУРЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ СРЕДИ МИКРООРГАНИЗМОВ	
<i>Перельгин В.В., Похиленко В.Д., Левчук В.П., Калмантаев Т.А., Светоч Э.А.</i>	98
ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО МАССАЖА В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БОРЦОВ КЛАССИЧЕСКОГО СТИЛЯ	
<i>Черницына Н.В.</i>	103
Сельскохозяйственные науки	
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФОРМЫ ДИКОЙ ЯБЛОНИ В КЫРГЫЗСТАНЕ	
<i>Керимкулова Н.Т., Тургунбаев К.Т., Шалтыков К.Т.</i>	108
Науки о Земле	
НАПРАВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ АДАПТИВНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	
<i>Комаров В.С.</i>	114
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ	
<i>Макаров М.М., Кучер К.М., Асламов И.А., Петров И.А.</i>	120
Педагогические науки	
ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	
<i>Дубинин Н.Н., Назарова Ю.Ю.</i>	125
УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ЛОГОРИТМИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАНЯТИЙ ПОДВИЖНЫМИ ИГРАМИ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ	
<i>Иванова Л.Ю., Иванова А.П.</i>	130

<hr/>	
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ «ДИСКУССИОННАЯ ПЛОЩАДКА ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРОБЛЕМАМ ПЕДАГОГИКИ И ПСИХОЛОГИИ НАЧАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ – УЧЕБНОЕ СОБЫТИЕ» ПРИ ПОДГОТОВКЕ УЧИТЕЛЕЙ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ	
<i>Минаева Е.В., Иванова Н.В.</i>	135
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ РОДИТЕЛЕЙ	
<i>Самохвалова С.Ю., Тодарчук О.А., Рыжова О.С.</i>	140
Исторические науки и археология	
РЕОРГАНИЗАЦИЯ ГУМАНИТАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В КАЗАНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ В 1919–1922 ГОДЫ	
<i>Садыков Ш.Ф.</i>	145
Философские науки	
КОНЦЕПЦИЯ БОЛЕЗНИ В ИСТОРИИ МЕДИЦИНЫ И СОЦИАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: АНТРОПОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ И ЭПИСТЕМИЧЕСКИЙ ПОДХОД	
<i>Песоцкая Е.Н., Инчина В.И.</i>	150
Научный обзор	
Биологические науки	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК В ЛЕЧЕНИИ ТРАВМ СПИННОГО МОЗГА	
<i>Кузнецов С.Б., Корель А.В.</i>	155
ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ	
<i>Трухан И.С.</i>	165
Педагогические науки	
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ	
<i>Сарсекеева Ж.Е., Иванова А.А., Сарсекеева Н.Е.</i>	173

CONTENTS
Technical sciences

CAVITATIONAL ACTIVATION OF DEFERRIZATION PROCESSES OF NATURAL GROUNDWATER <i>Sizykh M.R., Batoeva A.A., Aseev D.G.</i>	9
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF ELECTRIC DRIVES: WATER-POWERED DEVICES, SHIP'S ROTOR COLUMNS, TRANSSHIPMENT, GRINDING, TRANSPORTING DEVICES OF SEA-GOING VESSELS, UNDERWATER VEHICLES AND SHORE MECHANISMS <i>Urazov F.F., Dantsevich I.M., Osmukha S.A., Nescheretnyy N.S.</i>	15

Physical and mathematical sciences

INVESTIGATION OF THE ANOMALOUS HALL EFFECT IN HgSE:CO CRYSTALS BY DIFFERENTIAL HALL CURRENT METHOD <i>Lonchakov A.T., Bobin S.B., Deryushkin V.V., Okulov V.I., Govorkova T.E.</i>	20
MAGNETOELECTRIC EFFECT IN LAMINATED STRUCTURES FeCoGa/Metglas/LGT WITH THIN FILM MAGNETOSTRICTIVE LAYERS <i>Nosov A.P., Gribov I.V., Moskvina N.A., Druzhinin A.V., Osotov V.I.</i>	26

Chemical sciences

PHASE EQUILIBRIA IN THE As ₂ Te ₃ -In ₂ Te ₃ SYSTEM <i>Aliev I.I., Ahmedova C.A., Shafagatova G.G.</i>	31
ABSORPTION AND FLUORESCENCE SPECTRA OF PHENYLBENZIMIDAZOLE SERIES COMPOUNDS <i>Nekrasova L.P.</i>	36

Medical sciences

HEART RATE VARIATION AND VEGETATIVE REGULATION IN COLLEGE STUDENTS OF VARIOUS SPECIALIZATIONS <i>Kononets I.E., Kalykeeva A.A.</i>	42
OPTIMIZATION OF METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF THE FLUORIDE IN URINE <i>Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Shayakhmetov S.F.</i>	47
INFLUENCE OF GLUCOCORTICOIDS ON THE FUNCTION OF PALATINE TONSILS AND PERIPHERAL BLOOD ANALYSIS <i>Nasyrov M.V., Bakieva K.K.</i>	51

Biological sciences

THE ROLE OF ANNELID WORMS (ANNELIDA) IN THE NAROCH LAKES SYSTEM (BELARUS) <i>Baturina M.A., Makarevich O.A., Kaygorodova I.A., Zhukova T.V., Adamovich B.V.</i>	56
FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF BACTERIUM SYNECHOCYSTIS SP. PCC 6803 IN THE PRESENCE OF A TOXICANT AND A GROWTH PROMOTER IN A CULTURE MEDIUM <i>Dallakyan G.A., Ageeva I.V.</i>	60

<hr/>	
BIOLOGY AND FISHERY VALUE OF ROACH (<i>RUTILUS RUTILUS</i> LINNAEUS, 1758) IN THE LAKES OF THE KENOZERSKY NATIONAL PARK	
<i>Dvoryankin G.A.</i>	65
SPREADING MECHANISMS OF CATTLE MESHENYMAL STEM CELL	
<i>Kovaleva A.V., Tvorogova A.V., Saidova A.A.</i>	70
INFLUENCE OF RECREATIONAL LAND USE ON THE BUTTERFLY COMMUNITIES OF COASTLINE OF LAKE TELETSKOYE	
<i>Malkov P.Yu.</i>	80
ESTIMATION OF RESISTANCE OF THE DIFFERENT WHEAT VARIETIES TO AGING, DROUGHT AND SALINITY	
<i>Mamedova S.A., Ibragimova Z.Sh., Aliev R.T.</i>	84
THE EFFECT OF THE BIO-20 PROBIOTIC, CAUSED IN RELATION TO NEUTROPHIL PHAGOCYtic AND MICROBICIDAL ACTIVITY INDICATORS OBSERVED IN COWS AND THEIR CALVES	
<i>Masalov V.N., Lyakhova O.L., Sysoeva L.A.</i>	88
SANITARY-MICROBIOLOGICAL STATE OF SOIL COASTAL ZONE OF RESERVOIRS IN PLACES OF RECREATION	
<i>Mikheev P.V.</i>	93
PROTEINASES AS PROBABLY FACTORS OF REGULATION OF COMPETITIVE RELATIONS AMONG MICROORGANISMS	
<i>Perelygin V.V., Pokhilenko V.D., Levchuk V.P., Kalmantaev T.A., Svetoch E.A.</i>	98
THE APPLICATION OF THE RESTORATIVE MASSAGE IN THE PROCESS OF TRAINING ACTIVITY OF CLIPICAL STYLE FIGHTERS	
<i>Chernitsyna N.V.</i>	103

Agricultural sciences

PERSPECTIVE FORMS OF WILD APPLE-TREE IN KYRGYZSTAN	
<i>Kerimkulova N.T., Turgunbaev K.T., Shalpykov K.T.</i>	108

Earth sciences

THE DIRECTION OF THE FUTURE DEVELOPMENT OF ADAPTIVE ENERGY SYSTEMS FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES	
<i>Komarov V.S.</i>	114
THE MONITORING SYSTEM OF HYDROPHYSICAL AND HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF LAKE BAIKAL	
<i>Makarov M.M., Kucher K.M., Aslamov I.A., Petrov I.A.</i>	120

Pedagogical sciences

TECHNOLOGY OF TASKS SOLVING BY METHOD OF PHYSICAL ANALYSIS	
<i>Dubin N.N., Nazarova Yu.Yu.</i>	125
UNIVERSALITY SPEECH THERAPY RHYTHMICS IN PREPARATORY PART OF ENGAGING IN MOVABLE GAMES FUTURE TEACHER OF PHYSICAL CULTURE	
<i>Ivanova L.Yu., Ivanova A.P.</i>	130

FEATURES OF CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION DISCIPLINES IN HIGHER EDUCATION «DISCUSSION PLATFORM ON CONTEMPORARY PROBLEMS OF PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY OF PRIMARY EDUCATION AND TRAINING EVENT» IN PREPARATION PRIMARY SCHOOL TEACHER	
<i>Minaeva E.V., Ivanova N.V.</i>	135
METHODOLOGICAL BASES OF ACTIVITY OF MODERN UNIVERSITY FOR PARENTS	
<i>Samokhvalova S.Yu., Todarchuk O.A., Ryzhova O.S.</i>	140
Historical sciences and archeology	
REORGANIZATION OF HUMANITARIAN EDUCATION IN THE KAZAN UNIVERSITY IN 1919–1922 YEARS	
<i>Sadykov S.F.</i>	145
Philosophical sciences	
THE DISEASE CONCEPTION IN THE HISTORY OF MEDICINE AND SOCIAL REALITY. ANTHROPOLOGICAL COMPONENT AND EPISTEMICAL ATTITUDE	
<i>Pesotskaya E.N., Inchina V.I.</i>	150
Scientific review	
Biological sciences	
THE USE OF STEM CELLS IN THE TREATMENT OF SPINAL CORD INJURIES	
<i>Kuznetsov S.B., Korel A.V.</i>	155
THE CULTURE MEDIUM AS A KEY FACTOR OF THE MAMMALIAN CELL CULTIVATION	
<i>Trukhan I.S.</i>	165
Pedagogical sciences	
INFORMATION SUPPORT AS A MEANS OF FORMING THE INFORMATION COMPETENCE OF STUDENTS	
<i>Sarsekeeva Zh.E., Ivanova A.A., Sarsekeeva N.E.</i>	173

УДК 628.339

КАВИТАЦИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Сизых М.Р., Батоева А.А., Асеев Д.Г.*Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: abat@binm.ru*

На основании результатов проведенного в работе экспериментального моделирования процессов окисления соединений железа в условиях низконапорной гидродинамической кавитации (НГДК), генерируемой в устройстве струйного типа, предложен эффективный комбинированный метод обезжелезивания природных подземных вод, заключающийся в кавитационной активации процессов окисления Fe (II) пероксидом водорода в микро- и нанодисперсных газожидкостных средах и являющийся альтернативой традиционно используемому методу аэрации, особенно при высоких концентрациях железа, низкой щелочности и высокой жесткости некондиционных вод. Экспериментально установлено, что при обезжелезивании природных подземных вод с применением экологически чистого окислителя – пероксида водорода интенсифицирующий эффект воздействия кавитации является следствием реализации сопряженного механизма, включающего реакции с участием пероксида водорода, растворенного кислорода, гидрокарбонатов и генерируемых *in situ* активных форм кислорода, как правило, гидроксильных радикалов. Результаты укрупненных испытаний по обезжелезиванию некондиционной природной подземной воды хорошо коррелируют с закономерностями, установленными на модельных растворах и имитатах в лабораторных условиях. Разработанная технологическая схема обезжелезивания может использоваться как для кондиционирования природных подземных вод, так и для очистки производственных оборотных и шахтных.

Ключевые слова: подземные природные воды, обезжелезивание, низконапорная гидродинамическая кавитация, пероксид водорода, энергоэффективность

CAVITATIONAL ACTIVATION OF DEFERRIZATION PROCESSES OF NATURAL GROUNDWATER

Sizykh M.R., Batoeva A.A., Aseev D.G.*Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, e-mail: abat@binm.ru*

Based on the results of experimental modeling of the oxidation of iron compounds under conditions of low-pressure hydrodynamic cavitation (NGDK) generated in a jet-type device, an effective combined method of deferrization of natural groundwater has been proposed, consisting in the cavitation activation of Fe (II) oxidation processes by micro- and nanodispersed gas-liquid media and being an alternative to the traditionally used aeration method, especially at high concentrations of iron, low alkalinity and high hardness of substandard groundwater. It has been established experimentally that the intensifying effect of cavitation in combined oxidizing systems in the presence of an environmentally friendly oxidant – hydrogen peroxide during deferrization of natural groundwater is due to the occurrence of a complex mechanism involving reactions with dissolved oxygen, bicarbonates, hydrogen oxide and generated *in situ* reactive oxygen species, mainly hydroxyl radicals. The results of scaled-up tests on deferrization of substandard natural groundwater correlate well with the regularities established on model solutions and imitates under laboratory conditions. The developed technological scheme of deferrization can be used not only for the conditioning of natural groundwater, but also for the purification of mine and industrial circulating waters.

Keywords: substandard natural groundwater, deferrization, low-pressure hydrodynamic cavitation, hydrogen peroxide, energy efficiency

Применение в процессах водоочистки гидродинамической и акустической кавитации в сочетании с так называемыми в англоязычной литературе «Advances Oxidation Processes», основанными на формировании в растворе высокорекреационноспособных кислородсодержащих радикалов, привлекает большой научный интерес современных исследователей [1–3].

При кавитации в водных растворах на границе кавитационных пузырьков (микроролостей) и жидкости при их схлопывании происходит рост температуры и давления. Установлено, что внутри схлопывающихся кавитационных микроролостей возникает высокое давление и температура достигает 5000 К. В условиях кавитация при разложе-

нии воды происходит образование пероксида водорода, гидроксильных радикалов, способных вступать в окислительно-восстановительные реакции с органическими и неорганическими молекулами, присутствующими в воде [4–6].

В коллапсирующих микропузырьках, как в микрохимических реакторах, в экстремальных условиях активируются различные физико-химические процессы, и реализуется возможность для протекания окислительно-восстановительных реакций, которые не осуществимы при нормальных условиях.

В мировой научной литературе, при изучении сонохимических превращений используют генераторы акустических коле-

баний в широком частотном диапазоне, от 20 кГц и до 2 МГц. Наиболее изучено действие в комбинированных окислительных системах (US/H₂O₂, US/O₃) средне- и низкочастотного ультразвука (US). При этом исследователями отмечается, что низко- и среднечастотные установки отличаются достаточно низким коэффициентом полезного действия и являются энергоемкими и это их основной недостаток.

Генераторы гидродинамической кавитации, устройства струйного и роторного типа в настоящее время достаточно широко используются во флотационных установках для очистки сточных вод, в том числе и сильнозагрязненных (нефтепродукты, стоки целлюлозно-бумажных и кожевенных производств и др.). При этом влияние основных параметров (давления, температуры, объема и состава раствора), а также типа генерирующих устройств при практической реализации процесса гидродинамической кавитации на механизмы окислительно-восстановительных реакций и скорость их протекания изучено недостаточно.

Цель исследования: экспериментальное моделирование процессов окисления соединений железа в условиях низконапорной гидродинамической кавитации (НГДК), генерируемой в устройстве струйного типа.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на модельных растворах сульфата железа (II), приготовленных на дистиллированной воде и имитатах, приготовленных на водопроводной воде с концентрацией железа

2–10 мг/л. Пилотные, укрупненные лабораторные испытания проводили на подземной воде п. Истомино (Республика Бурятия, Кабанский район). Глубина скважины – 38 м. Гидрохимические показатели водопроводной и подземной воды получены в аккредитованной лаборатории ФБУ «Бурятский ЦСМ» и лаборатории инженерной экологии БИП СО РАН (табл. 1). Концентрацию железа (II) в растворах до и после обработки определяли фотометрическим методом по ПНД Ф 14.1.2.3.2-95. Удельную электрическую проводимость, реакцию среды и концентрацию растворенного в воде кислорода контролировали прибором Multi 3410, снабженным электродами FDO*925, SenTix*940 и TetraCon*925 (WTW).

Экспериментальная установка (рис. 1), использованная в данных исследованиях, состояла из центробежного многоступенчатого насоса Grundfos CRNE-15, снабженного преобразователем частоты (1), бака-усреднителя объемом 7 л (2), в котором поддерживалась термостатом (6) постоянная температура 20 °С, линию для интенсивного и быстрого перемешивания раствора (3), напорную линию, включающую генератор кавитации (4), снабженный форсункой из фторопласта (7), которая размещена в проходном штуцере с плечиками (8) и манометр (5). При работе установки рабочий раствор из бака-усреднителя насосом по подающей линии направляется в генератор, где развивается кавитация за счёт формирования области пониженного давления. Все элементы установки выполнены из материалов, стойких к агрессивным средам.

Результаты исследования и их обсуждение

Предварительно были проведены расчеты, конструирование, изготовление и испытание лабораторного стенда, для генерирования низконапорной гидродинамической кавитации с использованием устройства струйного типа (рис. 1).

Таблица 1

Гидрохимический состав воды, использованной в исследованиях

Показатель	Водопроводная	Подземная
pH	7,44 ± 0,2	7,39 ± 0,2
(Mg), мг/л	9,9 ± 0,3	15,2 ± 0,3
(Cl ⁻), мг/л	0,47 ± 0,09	6,88 ± 1,04
(SO ₄ ²⁻), мг/л	16,72 ± 3,54	3,61 ± 0,62
Fe (II), мг/л	н/о	3,35 ± 0,37
Fe общее, мг/л	н/о	4,29 ± 0,48
(NO ₃ ⁻), мг/л	4,92 ± 0,73	0,43 ± 0,05
(NO ₂ ⁻), мг/л	<0,1	<0,1
(NH ₄ ⁺), мг/л	<0,05	0,96 ± 0,28
(HCO ₃ ⁻), мг/л	138 ± 18	271 ± 43
Жесткость, мг-экв/л	2,81 ± 0,59	4,56 ± 0,66
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	242 ± 9	444 ± 13
(Ca), мг/л	37,12 ± 0,86	63,8 ± 1,7
(Na), мг/л	10,43 ± 2,69	7,64 ± 1,39
Общий органический углерод, мг/л	4,7 ± 0,9	20,8 ± 5,6

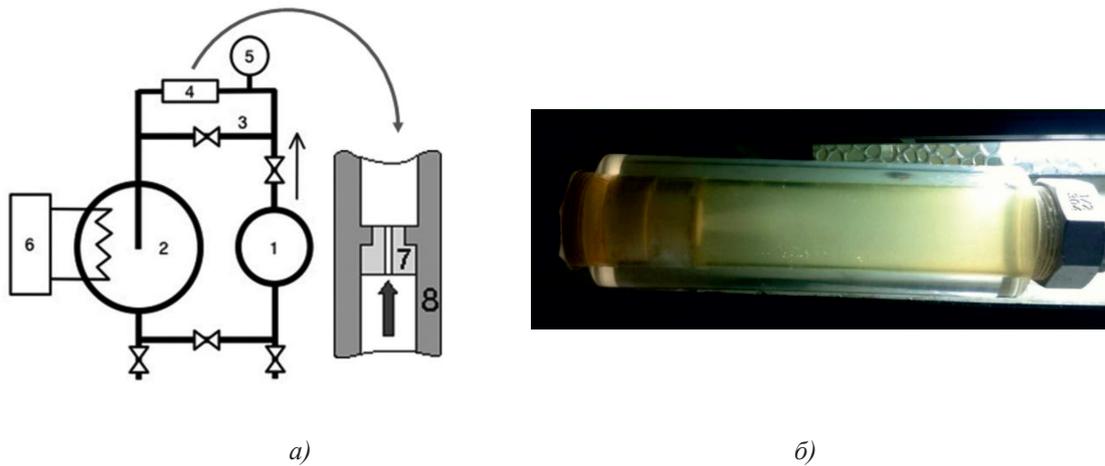


Рис. 1. Схема установки (а) и фото кавитационной камеры (б)

Известно, что перед входом в форсунку жидкость приобретает наибольшее ускорение и в этой области проявляются максимальные разрывные силы, что ведёт к разрыву сплошности среды, формированию микропузырьков и реализуются высокоэнергетические процессы.

Гидродинамические характеристики, описывающие работу устройства, представлены в табл. 2. Данные показывают, что при увеличении рабочего давления в системе увеличивается производительность устройства, увеличивается скорость потока жидкости, снижается число кавитации, что является важным параметром при переходе системы из бескавитационного течения в кавитационное.

Таблица 2

Характеристики процесса гидродинамической кавитации

D, мм	ω , м ²	P, атм	Q, л/мин	U, м/сек	σ	W, Вт*ч
4	$12,5 \cdot 10^{-6}$	0,4	5,1	6,76	4,33	82,4
		1,1	7,3	9,68	2,12	127,2
		2,2	11,0	14,59	0,93	204,6
		3,0	13,0	17,24	0,67	305,7
		4,1	14,4	19,10	0,54	416,4
		5,2	16,0	21,22	0,44	475,0

Для расчёта числа кавитации использовали формулу

$$\sigma = \frac{P - P_{н.п.}}{0,5\rho v^2},$$

где P – внешнее давление (101325 Па), ω – площадь поперечного сечения входного

отверстия форсунки, Q – производительность устройства, v – скорость течения жидкости, равная $v = \frac{Q}{\omega}$, P_{н.п.} – давление насыщенных паров (при температуре 20 °С 2338 Па), ρ – плотность воды (при 20 °С 998,2 кг/м³).

Известно, что условия для возникновения кавитации возникают лишь тогда, когда в рассматриваемом нами местном сопротивлении число кавитации достигает критического значения (предельно допустимого) $\sigma_{кр}$. Число кавитации связано прежде всего с коэффициентом местного сопротивления в бескавитационном режиме. Для местных сопротивлений, являющихся следствием изменения сечения потока, можно предложить следующую зависимость в первом приближении [7]:

$$\sigma_{кр} = \zeta + 2\sqrt{\zeta},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

При внезапном сужении коэффициент местного сопротивления будет равен

$$\zeta = (1/\epsilon - 1)^2.$$

По формуле А.Д. Альтшуля может быть найден коэффициент сжатия струи – ϵ .

$$\epsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}},$$

где ω_1 – площадь сечения в узком трубопроводе сжатой струи, ω_2 – площадь сечения узкой трубы. С использованием вышеприведенных формул для форсунки с диаметром входного отверстия 4 мм были рассчитаны $\sigma_{кр}$ и P_{кр} (табл. 3).

Таблица 3
Рассчитанные значения коэффициента сжатия струи, коэффициента местного сопротивления и критического числа кавитации

d, мм	ϵ	ζ	$\sigma_{кр}$	$P_{кр}$, атм
4	0,613	0,397	1,657	1,4

Исходя из расчетных значений критического числа кавитации (табл. 3) и чисел кавитации в рабочем режиме (табл. 2), можно сделать вывод, что для форсунки с диа-

метром входящего отверстия $d = 4,0$ мм, $P_{кр} \approx 1,4$ атм. Таким образом, для дальнейших исследований процессов кавитации нами была использована в качестве генератора гидродинамической кавитации форсунка с диаметром входного отверстия $d = 4,0$ мм, и рабочее давление, равное 2,2 атм, так как число кавитации при этих условиях минимально допустимое, при минимальных затратах энергии. Сделанные выводы экспериментально подтверждают результаты по окислению железа (II) в водопроводной воде в условиях НГДК (рис. 2).

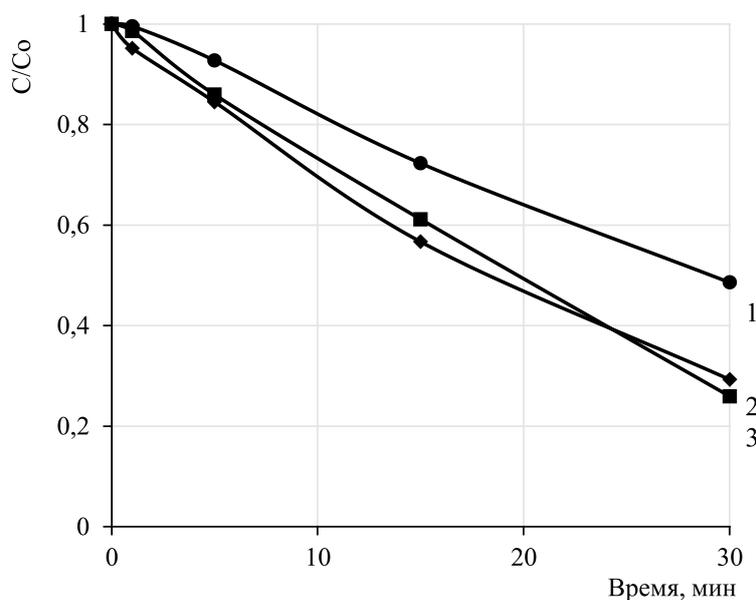


Рис. 2. Окисления железа (II) в водопроводной воде при рабочем давлении 1,1 атм (1); 2,2 атм (2); 4,4 атм (3). $Fe^{2+}_{исх} = 10$ мг/л. Диаметр форсунки 4 мм

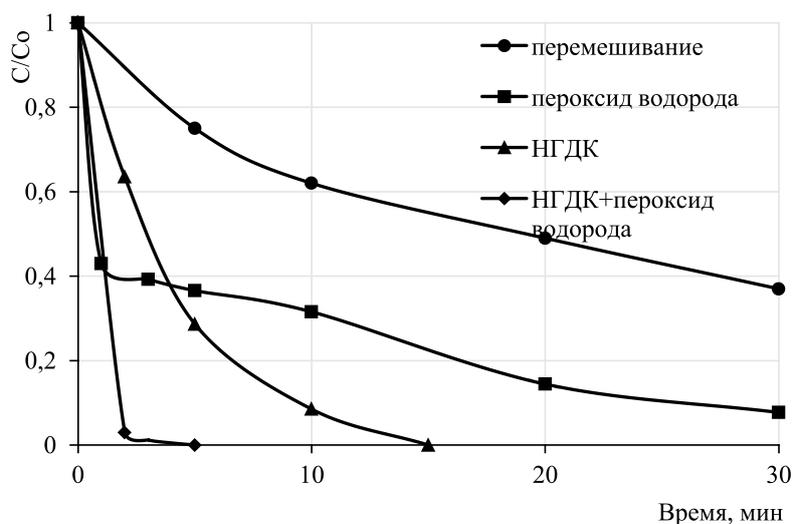


Рис. 3. Изменение концентрации $Fe(II)$ в водопроводной воде в условиях НГДК. $Fe^{2+}_{исх} = 2$ мг/л, $(H_2O_2)_{исх} = 0,5$ мг/л

Проведение процесса в условиях НГДК ведёт к увеличению начальной скорости окисления железа (II) практически в 8 раз, с 0,659 мкМ/мин до 5,20 мкМ/мин (рис. 3). После 10 минут обработки остаточная концентрация железа (II) снижается до установленных норм ($\leq 0,3$ мг/л, СанПиН 2.1.4.1074-01). Добавление пероксида водорода ещё больше ускоряет процесс окисления железа (II), начальная скорость достигает 17 мкМ/мин, а остаточная концентрация железа (II) после двухминутной обработки составила 0,05 мг/л.

Ускорение процессов окисления железа под воздействием гидродинамической кавитации, инициированной в низконапорных устройствах струйного типа, происходит как за счет дополнительного формирования *in situ* гидроксильных радикалов, так и за счет интенсификации массообменных процессов в формирующейся микродисперсной газожидкостной среде.

Анализ литературных данных [8, 9] и полученных нами результатов и позволил провести сравнительную оценку удельной энергоэффективности процессов обезжеле-

зирования при кавитационном воздействии (табл. 4). Рассчитывали интегральный параметр, так называемый кавитационный выход («cavitation yield») по формуле [10]:

$$Y = \frac{(C_0 - C_\tau) \cdot V \cdot 1000}{W \cdot \tau \cdot 60},$$

где Y – количество окисленного железа (II) в расчете на единицу затраченной энергии, мг/МДж;

τ – продолжительность процесса, мин;

V – объем обрабатываемого раствора, мл;

C_0 – начальная концентрация, мг;

C_τ – концентрация после обработки, мг;

W – потребляемая мощность, Вт.

Наиболее энергоэффективным является процесс обезжелезивания природных подземных вод {НГДК + пероксид водорода} с использованием генератора кавитации струйного типа, при этом максимальный кавитационный выход достигает 480 мг/МДж. Неоспоримым преимуществом генераторов НГДК струйного типа также является простота их масштабирования при переходе к промышленным установкам.

Таблица 4

Сравнительная оценка удельной энергоэффективности процессов обезжелезивания

Тип кавитации	Окислитель	Кавитационный выход, мг/МДж
НГДК, роторная [8]	Кислород воздуха	36,5
НГДК, струйная	Кислород воздуха	90,7
	Пероксид водорода	480
Акустическая, высокочастотный ультразвук 1,7 МГц [9]	Кислород воздуха	12,8
	Пероксид водорода	44,5

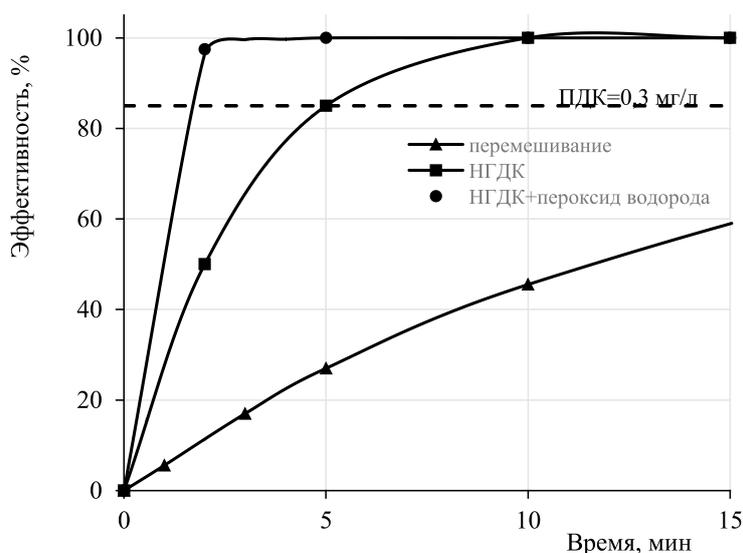


Рис. 4. Окисление железа (II), содержащегося в природной подземной воде. $[H_2O_2] = 0,5$ мг/л

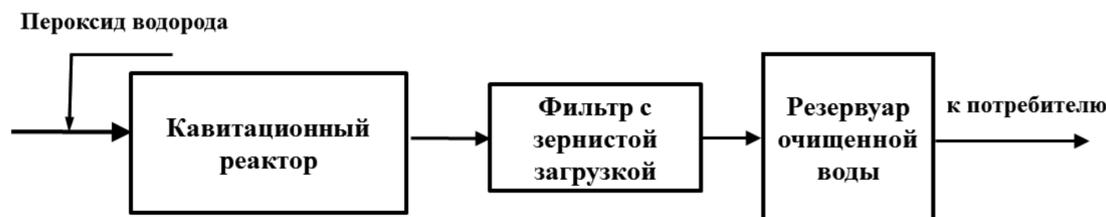


Рис. 5. Блок-схема технологии обезжелезивания природных подземных вод

Результаты укрупненных испытаний (рис. 4) по обезжелезиванию природной подземной воды хорошо коррелируют с закономерностями, установленными на модельных растворах и имитатах в лабораторных условиях. Скорость окисления железа (II) при комбинированной обработке {НГДК + перексид водорода} составила 17,4 $\mu\text{M}/\text{мин}$.

При этом уже после двух минут обнаруживаются лишь следовые концентрации Fe^{2+} и очищенная вода соответствует гигиеническим нормативам ($\leq 0,3$ мг/л, СанПиН 2.1.4.1074-01 «Вода питьевая»).

Заключение

Таким образом, на основании результатов экспериментального моделирования предложен эффективный комбинированный метод обезжелезивания природных подземных вод, которая заключается в кавитационной активации процессов окисления железа (II) перексидом водорода, происходящих в микро- и нанодисперсных газожидкостных средах, и разработана принципиальная технологическая схема обезжелезивания природных подземных вод (рис. 5), включающая обработку подземной воды перексидом водорода с одновременным кавитационным воздействием и последующим фильтрованием через зернистую загрузку.

Разработанная технологическая схема обезжелезивания может использоваться не только для кондиционирования природных подземных вод, но и для очистки шахтных и производственных оборотных вод.

Список литературы

1. Gogate P.R. Treatment of wastewater streams containing phenolic compounds using hybrid techniques based on cavitation: A review of the current status and the way forward. *Ultrasonics sonochemistry*. 2008. Vol. 15. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2007.04.007.
2. Асеев Д.Г., Сизых М.Р., Батоева А.А. Окислительная деструкция фенолов в комбинированных соно-фентон подобных системах при воздействии высокочастотного ультразвука // *Журнал физической химии*. 2017. Т. 91. № 12. С. 2044–2049.
3. Sathishkumar P., Mangalarija R.V., Anandan S. Review on the recent improvements in sonochemical and combined sonochemical oxidation processes – A powerful tool for destruction of environmental contaminants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 55. P. 426–454. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.139.
4. Caupin F., Herbert E. Cavitation in water: a review. *C.R. Physique*. 2006. Vol. 7. P. 1000–1017.
5. Kidak R., Ince N. Ultrasonic destruction of phenol and substituted phenols: a review of current research. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2006. Vol. 13. P. 195–199.
6. Arrojo S., Benito Y. A theoretical study of hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2008. Vol. 15. P. 203–211. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2007.03.007.
7. Альтшуль А.Д. Примеры расчетов по гидравлике. М.: Стройиздат, 1977. 255 с.
8. Сизых М.Р., Батоева А.А. Перспективы применения пероксида водорода в процессах обезжелезивания природных вод // *Экология и промышленность России*. 2013. № 2. С. 18–20.
9. Сизых М.Р., Батоева А.А. Перспективы использования высокочастотного ультразвука в технологиях очистки подземных вод от соединений железа // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 7. С. 64–68.
10. Gogate P.R., Bhosale G.S. Comparison of effectiveness of acoustic and hydrodynamic cavitation in combined treatment schemes for degradation of dye wastewaters. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2013. Vol. 71. P. 59–69. DOI: 10.1016/j.cep.2013.03.001.

УДК 629.12:621.86

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ:
ВОДНЫХ ДВИЖУЩИХ УСТРОЙСТВ, ВИНТОРУЛЕВЫХ
КОЛОНК СУДОВ, ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ, РАЗМАЛЫВАЮЩИХ,
ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МОРСКИХ СУДОВ,
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И БЕРЕГОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Уразов Ф.Ф., Данцевич И.М., Осьмуха С.А., Нещеретный Н.С.

*Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск,
e-mail: uf07211937@mail.ru, dancevich65@mail.ru, rusalsvetik@mail.ru*

Совершенствование и развитие промышленного электропривода разнообразных рабочих механизмов как морских и речных судов, так и стационарных транспортирующих и перерабатывающих устройств с целью энерго- и ресурсосбережения, несмотря на широкое применение компьютеризации и цифровизации, остается весьма актуальной задачей. Одним из путей достижения поставленной цели, наряду с применением новейших материалов и компьютерно-цифровой техники, является внедрение систем прямого электропривода, когда между энергоисточником-электродвигателем и рабочим органом механизма, по сравнению с существующими электроприводами, исключены любые механические элементы: валы, муфты, редукторы, шкивы, ремни, трансмиссии. Такое решение позволяет получить экономию в уровнях: трудозатрат изготовления, материалов изготовления, расхода электроэнергии, расходных материалов, например смазочных, а также повысить производительность механизма ввиду сокращения времени протекания динамических процессов разгона, реверса и торможения. В работе представлена информация о патентах авторов по системам прямого привода разнообразных механизмов, таких как движителей морских и речных судов и их винторулевых колонок, перегрузочных, транспортирующих и размалывающих механизмов как морского, так и берегового применения на флоте и промышленности, а также подробно описан винтовой электромагнитный глубоководного применения.

Ключевые слова: ресурсосбережение, рабочие механизмы, электроприводы

**RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF ELECTRIC DRIVES:
WATER-POWERED DEVICES, SHIP'S ROTOR COLUMNS, TRANSSHIPMENT,
GRINDING, TRANSPORTING DEVICES OF SEA-GOING VESSELS,
UNDERWATER VEHICLES AND SHORE MECHANISMS**

Urazov F.F., Dantsevich I.M., Osmukha S.A., Nescheretnyy N.S.

*State Maritime University named after F.F. Ushakov, Novorossiysk,
e-mail: uf07211937@mail.ru, dancevich65@mail.ru, rusalsvetik@mail.ru*

Improvement and development of industrial electric drive of various working mechanisms of both sea and river vessels and stationary transporting and processing devices for the purpose of energy and resource saving, despite the wide use of computerization and digitalization, remains a very urgent task. One of the ways to achieve this goal, along with the use of the latest materials, and computer-digital equipment, is the introduction of direct electric drive systems, when any mechanical elements are excluded from the power source-electric motor and working equipment, as compared to existing electric drives: shafts, couplings, reducers, pulleys, belts, transmissions. Such a solution allows to obtain savings in the levels: labor costs of manufacturing, materials of manufacture, power consumption, consumables, for example, lubricating, and also increase the productivity of the mechanism in view of reducing the time of dynamic processes of acceleration, reverse and braking. The work presents information about the authors' patents on direct drive systems of various mechanisms such as propulsors of sea and river vessels and their rotor columns, transshipment, transporting and grinding mechanisms for both marine and coastal applications in the fleet and industry, and also describes in detail the helical electromagnetic deepwater application.

Keywords: resource saving, working mechanisms, electric drives

Результаты приведенных в данной статье сведений подтверждаются многими источниками от конкретных патентов до уже предлагаемых на мировом рынке технической продукции устройств систем прямых электроприводов как, например, подруливающих устройств фирмы Brawn Verger [1].

Ресурсосбережение является краеугольным камнем развития промышленного производства. Рассмотрение путей и способов достижения отмеченной цели является, несомненно, актуальным. В данной работе пред-

ставлен путь развития силовой части электроприводов различных механизмов, так как вопросы электроснабжения и рационального управления им в основном решены.

Системы автоматизированного электропривода являются ведущими звеньями в преобразовании электроэнергии в необходимые другие формы для совершения механизмами необходимой формы работы. Исторически электропривод развивался так, что между рабочим органом механизма и его приводным электродвигателем (ЭД)

существовал промежуточный, как правило, механический элемент: вал, муфта, редуктор, шкив, ремень и прочее. Это в основном объяснялось тем, что для движения рабочего органа требовались низкие скорости перемещений, а электродвигатели применялись относительно высокоскоростные, ввиду их большего КПД по сравнению с низкоскоростными. Это противоречие было частично устранено развитием использования полупроходных преобразователей для питания электродвигателей.

Следующим шагом стало исключение вышеназванных механических элементов между рабочим органом механизма и электродвигателем, то есть применение конструкций систем прямого привода [2–4].

Конструктивно их можно разделить на два класса. Первый, при котором рабочий орган находится внутри электродвигателя, [2–4] второй, когда он находится снаружи него [5]. Примерами первого варианта служат: подруливающие устройства морских судов, выпускаемые зарубежными фирмами [1, 2], патент винтолопастной электромагнитный движитель глубоководного применения [3], патент электродвигатель горнорудной мельницы системы прямого привода [4]. Примером второго класса служит патент электродвигатель рабочего органа перегрузочной машины системы прямого привода [5].

Существуют механизмы, в которых одновременно реализуются два класса. Примером служит патент винторулевая колонка системы прямого привода [6].

Следует подчеркнуть, что, несомненно, будущее развитие ресурсосберегающих технологий электроприводов за системами прямого бестрансмиссионного электропривода. Это объясняется следующими причинами:

1. Экономией материальных затрат на изготовление элементов привода (нет промежуточных элементов).

2. Экономией расходных материалов, например, таких как смазочные материалы для редукторов.

3. Экономией расходуемой электроэнергии в динамических режимах пуска, реверса, торможения из-за уменьшения моментов инерции.

4. Увеличения быстродействия из-за уменьшения времени протекания динамической части переходных процессов, а следовательно, повышения производительности механизма.

В феврале 2018 г. авторами получен патент [3]. Описанный в нем движитель содержит в неподвижной части цилиндрический корпус из карбида кремния с раз-

мещенным внутри него шихтованным ферромагнитным сердечником статора с трехфазной капсулированной обмоткой, пропитанной специальной смолой из диэлектрика, устойчивого к повреждению морской водой. Внутри сердечника статора, с зазорами по радиальному направлению, расположен шихтованный ферромагнитный сердечник ротора, имеющий полюса из постоянных неодимовых магнитов и стержневую короткозамкнутую обмотку. Во внутренней цилиндрической полой части ротора без центральной ступицы размещены винтолопастные элементы движителя.

Внутри полых частей ротора и корпуса размещены сетчатые фильтры грубой и тонкой очистки морской воды.

Модель винтолопастного электромагнитного движителя глубоководного применения устроена согласно чертежу на рис. 1 и рис. 2 следующим образом.

В цилиндрическом корпусе 1, из карбида кремния, размещен шихтованный из листов электротехнической стали сердечник статора 8, в пазах которого располагается трехфазная капсулированная электропроводящая обмотка 7, пропитанная водостойкой изоляцией. Внутри сердечника статора 8 на расстоянии рабочего зазора радиального направления расположен шихтованный из листов электротехнической стали сердечник ротора 5 с пазами для полюсов 9 постоянных неодимовых магнитов Nd-Fe-B и пазами для размещения электропроводящих стержней пусковой обмотки с короткозамыкающими кольцами 6, 12. Сердечник ротора напрессован на трубчатую конструкцию 4 из карбида кремния, внутри которого размещены сегментообразные винтовые лопасти 14 без центральной ступицы из композиционного материала. Внутри статора подвес ротора обеспечен работой двух керамических подшипников скольжения 3, 16, смазываемых и охлаждаемых забортной водой и размещенных в двух щитах 2, 19, фиксируемых по окружности болтами 11 с резьбой. Винтовые лопасти с двух противоположных сторон осевого направления защищены сетчатыми фильтрами грубой очистки морской воды, и они фиксируются по внутренней поверхности цилиндра подвесок.

Рабочий зазор между сердечниками статора и ротора, с двух противоположных сторон осевого направления, защищены сетчатыми фильтрами 15 тонкой очистки морской воды, и они фиксируются к внутренней цилиндрической части корпуса модели, а сам корпус 1 опирается и фиксируется на опорной раме 18.

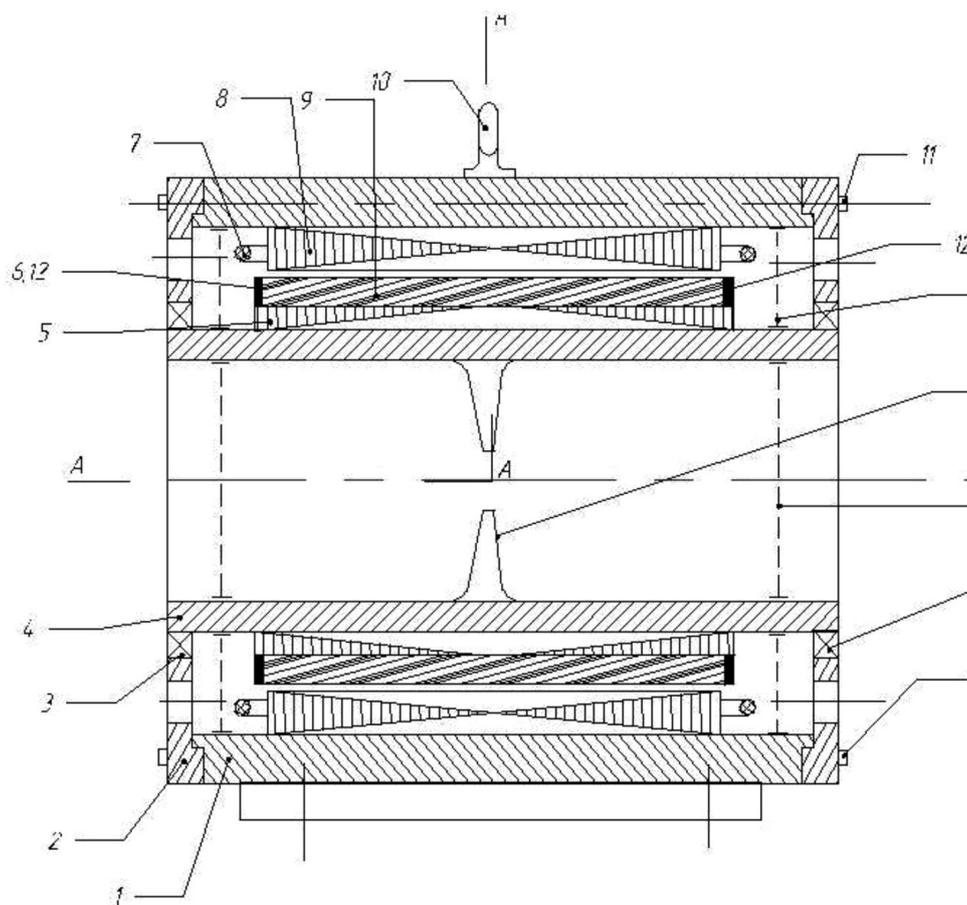


Рис. 1. Продольный разрез: 1 – корпус цилиндрический, 2, 19 – щит подшипниковый, 3, 16 – подшипник, 4 – трубчатый цилиндр, 5 – сердечник ротора шихтованный, 6 – кольцо короткозамкнутое, 7 – обмотка статора, 8 – сердечник статора шихтованный, 9 – постоянные магниты, 10 – рым-болт, 11, 17 – болты крепления, 12 – обмотка короткозамкнутая, 13 – фильтр сетчатый, 14 – лопасти винтовые, 15 – фильтр сетчатый, 18 – рама опорная

В сердечнике ротора имеются цилиндрические сквозные отверстия, параллельные стержням короткозамкнутой обмотки ротора, и они служат для циркуляции морской воды при работе модели, улучшая теплоотвод и поддерживая допустимую рабочую температуру элементов модели.

Для возможности транспортировки всей конструкции имеется рым-болт 10, фиксируемый к корпусу.

Описываемый винтолопастной электромагнитный движитель глубоководного применения работает следующим образом. При подаче трехфазного напряжения промышленной частоты или частоты обусловленной работой специального преобразователя на обмотку 7 статора от возникающего тока появляется бегущее вдоль окружности магнитное поле. Магнитный поток от этого поля замыкается через сердечники статора 8 и ротора 5, проходя дважды через рабочий зазор.

Во встречном направлении по аналогичному контуру замыкается магнитный поток, создаваемый двумя соседними постоянными магнитами радиальной намагниченности, а также поток создаваемый током короткозамкнутой обмотки 12, 6, который проходит по ней от индуцированной электродвижущей силы. Взаимодействие перечисленных потоков приводит к появлению тангенциальных электромагнитных сил, совокупные действия которых создает результирующий электромагнитный момент, вращающий ротор и лопасти винта.

Ввиду кривизны поверхностей лопастей винта образуются силы реакции морской воды осевого направления, совокупное действие которых приводит к поступательному перемещению объекта, на котором посредством опорной рамы 18 зафиксирован (закреплён) движитель.

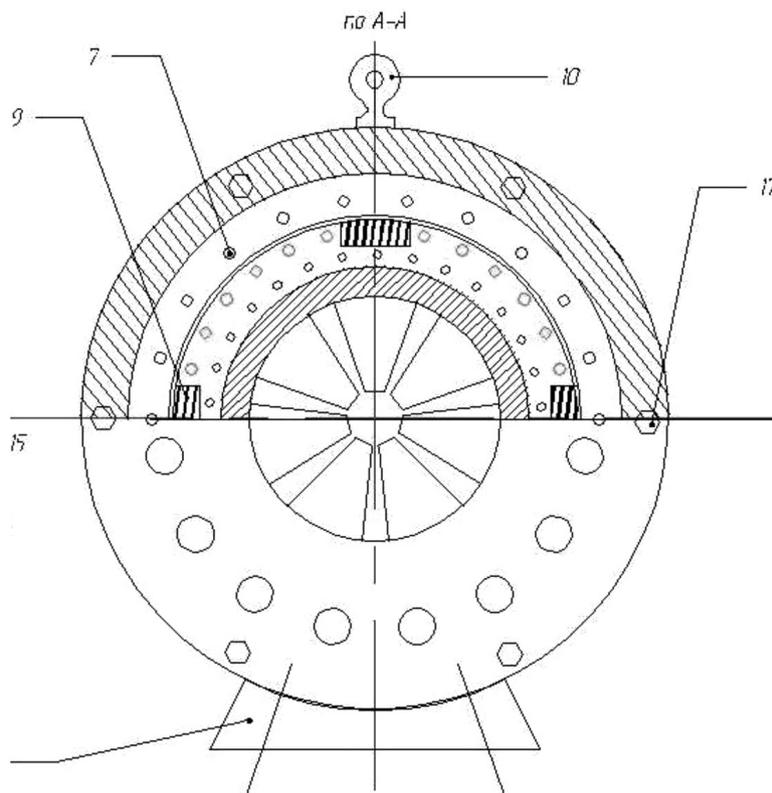


Рис. 2. Поперечный разрез: 7 – обмотка статора, 9 – постоянные магниты, 10 – рым-болт, 17 – болты крепления подшипниковых щитов, 18 – рама опорная

Ко всему вышеизложенному следует обратить внимание на нижеследующее относительно разработки, проектирования, расчетов и конструирования конкретного варианта системы без трансмиссионного электропривода рабочего механизма, предназначенного для исполнения необходимого технологического действия.

В начале разрабатываются все конструированные элементы, являющиеся ведущими звеньями в преобразовании энергии электродвигателя в совершении необходимых действий технологического процесса [12, 13].

1. Например, для подруливающего устройства и электромагнитного движителя морского объекта это гребной винтопастный винт, [8, 10, 12] лопасти которого без центральных ступиц и вала закреплены внутри цилиндра. Снаружи последнего размещены сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой и постоянными магнитами электродвигателя переменного тока [9, 10].

Здесь возможны два варианта: один при проектировании нового судна, когда необходимо определить размеры гребного винта, второй, когда размеры винта известны при

реконструкции винторулевой группы судна, так же как и мощность электропривода.

В первом случае по формуле Э.Э. Папмеля [8] рассчитывается необходимая буксировочная мощность NR судна при известной длине L , ширине B , осадке T судна, объеме водоизмещения V , скорости судна US . Рассчитывается буксировочное сопротивление R , полная сила упора P , создаваемая гребным винтом, и определяется диаметр гребного винта D_B с учетом коэффициента полезного действия, буксировочная мощность определит и мощность синхронного электродвигателя P_2 .

Диаметр винта D_B определит и внутренний диаметр шихтованного сердечника ротора, наружный диаметр которого D_2 рассчитывается известной зависимостью [7] с учетом числа пар постоянных магнитов возбуждения, то есть соответственно частоты питания обмотки статора и синхронной скорости вращения ротора с гребным винтом.

Диаметр $(D_2 + 2\delta)$ определит первый главный размер синхронного электродвигателя $D_1 = D_2 = 2\delta$, где δ – рабочий воздушный зазор, а второй главный размер синхронного электродвигателя – активная

длина сердечников $l\delta$ определится через допустимые электромагнитные нагрузки машины и мощность P .

Описанное соответствует варианту, когда оконечные наружные кромки лопастей винта закреплены внутри специального магнито-проводящего цилиндра, на наружную, радиальный размер поверхности которой сердечник определит внутренний диаметр ротора, на поверхность которого насажен сердечник ротора, то наружный диаметр сердечника ротора D_2 определяется согласно вышеназванной зависимости из [7].

2. Например, для привода грузовой лебедки или механизма подъема груза крана и механизма перемещения крана это несущий нагрузку цилиндр, внутри которого размещены все элементы электродвигателя обращенной конструкции [9–11].

Для второго вышестоящего варианта выполняются действия согласно первому варианту, начиная с шага об известности диаметра лопастей винта.

Для приводов, в которых полезную рабочую нагрузку несут цилиндры, насаженные на сердечники роторов обращенных электродвигателей, с известным числом оборотов и наружными и внутренними диаметрами этих цилиндров расчет ведется с определения диаметра D_2 сердечника ротора по вышеназванной зависимости [7], который и определит первый главный размер электродвигателя. Далее, используя допустимые электромагнитные нагрузки и значения $(D_2 + 2\delta)$, рассчитывают активную длину сердечников ротора, статора.

Таким образом, для примера 1 лопастей винта и его осевое тяговое усилие при известном числе мощность электродвигателя, а для примера 2 тангенциальное усилие силового цилиндра при известном числе оборотов определяет также потребную мощность электродвигателя. По значению мощностей электродвигателей и диаметра рабочих зазоров электродвигателя через машинную постоянную определяются осевые длины сердечников электродвигателя.

В заключение подчеркнем, что эта информация относится к системам прямого привода самых различных механизмов, которые являются прерогативой самых различных отраслей промышленного ма-

шиностроения подводомственных самым различным организационным структурам.

Поэтому считаем необходимым создание в России таких структур, которые бы своевременно анализировали тенденции развития прорывных технологий и принимали бы организационные меры по их своевременной реализации в практическом производстве.

Системы бестрансмиссионного или прямого электропривода для широкого класса производственных механизмов морского и речного транспорта, береговых промышленных производств обеспечивают широкое ресурсосбережение: в трудозатратах и материалах изготовления, в энергозатратах и повышают производительность механизмов.

Список литературы

1. Григорьев А. Судовые подруливающие устройства // Журнал российского судоходства Морской флот. 2012. № 5. С. 32–34.
2. Бочаров Л.Ю. Характеристики зарубежных технологий создания кольцевых электродвигателей движителей для необитаемых подводных аппаратов и кораблей // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. № 7–2. С. 87–90.
3. Данцевич И.М., Уразов Ф.Ф., Поначевная С.А., Нещеретный Н.С. Винтолопастной электромагнитный движитель глубоководного применения // Патент России № 179428. 2018. Бюл. № 4.
4. Уразов Ф.Ф., Захаренко А.Н., Нещеретный Н.С., Электродвигатель горнорудной мельницы системы прямого привода // Патент России № 2417505. ГМУ Ф.Ф. Ушакова. 2011. Бюл. № 12.
5. Уразов Ф.Ф., Нещеретный Н.С. Электродвигатель рабочего органа перегрузочной машины системы прямого привода // Патент России № 2481690. 2013. Бюл. № 13.
6. Уразов Ф.Ф., Аболенцев О.А., Дряхлов И.В., Герасименко О.Н. Винторулевая колонка системы прямого привода // Патент России № 2349493. 2009. Бюл. № 8.
7. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. М.: Юрайт, 2011. С. 135–136.
8. Справочник по теории корабля / Под ред. Я.И. Войткунского. Судостроение, 1985. С. 95–97.
9. Ковригин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. СПб.: Энергоатомиздат, 2000. С. 63–64.
10. Китаенко Г.И. Справочник судового электромеханика. Т. 1, Т. 2. Л.: Судостроение, 1980. С. 160–162.
11. Москаленко В.В. Электрический привод. 2-е изд. М.: Академия, 2007. С. 92–93.
12. Чекунов К.А. Судовые электроприводы и электроприводы судов. Л.: Судостроение, 1986. С. 72–73.
13. Quest electric ring thrusters. Electric Ring Thrusters. ALSTOM Schilling Robotics 201 Cousteon Place, Davis, California 95616-5412 USA. P. 3–4.

УДК 538.935

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА В КРИСТАЛЛАХ HgSe:CO ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ТОКА ХОЛЛА

¹Лончаков А.Т., ¹Бобин С.Б., ¹Дерюшкин В.В., ^{1,2}Окулов В.И., ¹Говоркова Т.Е.

¹Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург;

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, e-mail: lonchakov@imp.uran.ru

В данной работе авторами предложен дифференциальный метод исследования эффекта Холла в режиме тока Холла, реализация которого является возможной благодаря неоднородному распределению в образце концентрации носителей заряда. Этот метод апробирован в кристаллах HgSe: Co и HgSe: Ga с целью наблюдения аномального вклада в холловский ток, связанного с током спонтанного намагничивания, и сравнительного анализа степени неоднородности образцов. Особенность соединения HgSe: Co заключается в гибридизации донорных 3d-состояний кобальта с невозмущенными состояниями полосы проводимости кристалла. При определенной концентрации донорных электронов появляется возможность для реализации спонтанного спинового упорядочения электронов в гибридизированных состояниях и возбуждения тока спонтанного намагничивания. Его наблюдение проводилось с помощью нового метода – дифференциального метода тока Холла. Предлагаемый нами метод исследования эффекта Холла в режиме холловского тока отличается от известных прямых методов для постоянного тока и постоянного магнитного поля. Полученная зависимость разностного (дифференциального) холловского тока от магнитного поля для образцов HgSe:Co с насыщением в высоких магнитных полях качественно коррелирует с обнаруженной нами ранее в подобных системах магнитополевой зависимостью напряжения Холла. Вместе с тем предложенный в настоящей работе дифференциальный метод тока Холла оказывается более чувствительным к выявлению аномального эффекта Холла, чем холловское напряжение. Этот метод также может найти практическое применение для получения информации о степени неоднородности образцов.

Ключевые слова: спиновая поляризация, гибридизация состояний, метод тока Холла, аномальный эффект Холла, ток спонтанного намагничивания, переходный металл, степень неоднородности

INVESTIGATION OF THE ANOMALOUS HALL EFFECT IN HgSe:CO CRYSTALS BY DIFFERENTIAL HALL CURRENT METHOD

¹Lonchakov A.T., ¹Bobin S.B., ¹Deryushkin V.V., ^{1,2}Okulov V.I., ¹Govorkova T.E.

¹M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of UB RAS, Ekaterinburg;

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: lonchakov@imp.uran.ru

The differential method of the study of the Hall effect in the regime of the Hall current, the implementation of which is possible due to an inhomogeneous distribution of the concentration of charge carriers in the sample, has been proposed. This method was tested in crystals of HgSe : Co and HgSe : Ga with the aim to observe the anomalous contribution to the Hall current associated with the spontaneous magnetization current and perform comparative analysis of the degree of heterogeneity of the samples. The specificity of these systems is the hybridization of the impurity 3d-states with the zone states of the conduction band of the crystal. At a certain concentration of donor electrons there is a possibility of realization of spontaneous spin ordering of electrons in hybridized states and excitation of spontaneous magnetization currents. The observation of these currents were performed using new technique – differential Hall current method. This new proposed method of study of the Hall effect in the Hall current mode is different from the methods of a constant current and constant magnetic field, which can be considered direct methods. The nature of the anomalous magnetic field dependence of the differential Hall current for the samples of HgSe : Co corresponds qualitatively to the dependence of the Hall voltage on the magnetic field obtained earlier in similar systems. However, we can state that the differential method of the Hall current proposed in the present work is more sensitive to the manifestation of abnormal contribution than the Hall voltage. This method can also find practical application for obtaining information on the degree of inhomogeneity of samples.

Keywords: spin polarization, states hybridization, Hall current method, anomalous Hall effect, current of spontaneous magnetization, transition metal, degree of inhomogeneity

Бесщелевой полупроводник HgSe, содержащий примеси 3d-переходных металлов, относится к системам, в которых примесные 3d-состояния гибридизуются с зонными состояниями невозмущенного кристалла [1]. Подобные системы вызывают в последние годы интерес для исследования [2–4]. Следствием гибридизации примесных и свободных электронных состояний является теоретически предска-

занная спонтанная спиновая поляризация электронов [5]. Этот эффект был подтвержден экспериментально посредством наблюдения аномального эффекта Холла (АЭХ) в монокристаллах HgSe, легированных примесями (Fe, V, Ni, Cr и Co), при комнатной температуре [6]. Соединения HgSe:3d мы будем называть слабыми магнетиками, ввиду малой ~ (0,01 – 0,1) ат. % концентрации магнитной 3d-примеси. Теоретическое

описание АЭХ, обнаруженного в слабых магнетиках, представлено в работах [6, 7]. Показано, что в основе АЭХ лежит термодинамическая природа, которая отражает свойства локального термодинамического равновесия электронной системы. Эта особенность отличает термодинамический АЭХ от наиболее распространенного АЭХ, обусловленного спин-орбитальным взаимодействием в магнитных материалах [8–10]. Основой термодинамического механизма АЭХ в системах со спонтанной намагниченностью является возбуждение электрическим полем тока спонтанного намагничивания, следствием чего согласно [6, 7] является появление в локально равновесном токе проводимости некоторой магнитной составляющей, равной по величине току намагничивания. Именно эта добавка в холловском токе проводимости описывает в конечном итоге термодинамический АЭХ. Поэтому обнаружение в холловском токе проявлений термодинамических токов намагничивания явилось бы наглядным и весомым аргументом в пользу существования спонтанной спиновой поляризации в слабых магнетиках на основе селенида ртути. Данная работа в идейном плане продолжает нашу работу [11] и дополняет ее экспериментальными данными при температуре жидкого азота.

Материалы и методы исследования

Ранее исследования АЭХ в слабомагнитных кристаллах на основе HgSe уже проводились [6]. Отличие предложенного в данной работе метода исследования эффекта Холла от распространенного метода для постоянного тока и магнитного поля [12] заключается в измерении тока, протекающего во вторичной цепи (рис. 1, а), сопротивление которой можно считать достаточно малым $R_C \ll R_B$. Принципиальная схема, использованная нами в измерениях, представлена на рис. 1, а. В данной схеме цепь 1 является высокоомной, ток I в которой практически не изменится с приложением магнитного поля. Цепь 2 является низкоомной цепью, ток I_0 в которой (далее, «ток отражения») согласно правилу Кирхгофа выражается как $I_0 = I - I_S$, где I_S – ток через образец. В реальных образцах ток отражения будет обладать смешанной четностью по магнитному полю, поскольку будет содержать как четный вклад от магнитосопротивления, так и нечетный вклад от холловского сопротивления, который возникает из-за вызванной неоднородностью распределения концентрации носителей тока разности эдс Холла вблизи противоположных токовых контактов. Эту разность эдс, которая приводит к нечетной по напряженности магнитного поля добавке $(\Delta I_0)_{odd}$ к току отражения, можно выразить как $\Delta V = (V_1^+ - V_2^-) - (V_3^+ - V_4^-) = (V_1^+ - V_3^+) - (V_2^- - V_4^-)$ (рис. 1, а). Иначе говоря, вклад $(\Delta I_0)_{odd}$ может быть выражен как разница между холловскими токами I_{y_1} и I_{y_2} , возникающими из-за шунтирования образца токовыми контактами вблизи торцов [12]. Поэтому представленный метод мы назвали дифференциальным методом тока Холла.

Используя предложенный метод возможно, помимо изучения поведения тока Холла, также оценить степень однородности образца. Для демонстрации этого утверждения приведем выражение для холловского тока в следующем виде [6]:

$$I_H \approx \mu_H I H = \rho_{xy} \sigma_0 I. \quad (1)$$

Здесь $\mu_H = R_H \sigma_0$ – подвижность носителей, $\rho_{xy} = R_H H$ – сопротивление Холла, σ_0 – проводимость в нулевом магнитном поле. При получении (1) сделано предположение, что $I_{обр} \approx I$, а сам образец достаточно длинный и изотропный [12]. Тогда разность токов Холла вблизи торцов выражается как

$$\Delta I_H \approx \Delta R_H \sigma_0 I H, \quad (2)$$

где $\Delta R_H = (R_1 - R_2)$, R_1 и R_2 – коэффициенты Холла соответственно на противоположных концах образца. Тогда на основе (2) можно ввести параметр относительной неоднородности образца следующим образом:

$$\frac{\Delta n}{n} \approx \frac{\Delta R_H}{R_H} \approx \frac{\Delta I_H n e}{\sigma_0 I H} = \frac{Q(\Delta I_0)_{odd}}{\mu_H I H}, \quad (3)$$

где $\Delta n = (n_2 - n_1)$, n – средняя по объему образца электронная концентрация. В выражении (3) сделано предположение, что разность ΔI_H и нечетный вклад $(\Delta I_0)_{odd}$ являющийся частью ΔI_H связаны линейной зависимостью через коэффициент Q . Пусть образец является низкоомным, то есть $R_{\perp} \ll R_C$, где R_{\perp} – сопротивление образца в направлении холловского тока. В этом предельном случае следует предположить, что $Q \sim \sigma_0$. Тогда с помощью (3) для i -го и j -го образца из совокупности образцов с близкой геометрией можно ввести важную для аттестации образцов характеристику – отношение параметров неоднородности:

$$\beta_{ij} = \frac{\Delta n_i n_j}{\Delta n_j n_i} \approx \frac{n_i}{n_j} \frac{I_j}{I_i} \frac{(\Delta I_{0i})_{odd}}{(\Delta I_{0j})_{odd}}. \quad (4)$$

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей поведения холловского тока в слабых магнетиках на основе селенида ртути и получения информации о степени однородности образцов путем выделения нечетной компоненты в угловой и магнитополовой зависимости тока отражения. Эксперимент был выполнен при температурах 77 и 300 К.

Образец вращался в магнитном поле величиной до 25 кЭ, создаваемом электромагнитом, таким образом, что ось вращения совпадала с направлением электрического тока, а магнитное поле было ему перпендикулярным. Угол вращения α отсчитывался от широкой грани образца (рис. 1, б), изменяясь 0 до 180° в магнитном поле сначала условно положительного направления ($+\vec{H}$), а затем – отрицательного направления ($-\vec{H}$). В последнем случае углу поворота приписывались отрицательные значения. Очевидно, что такое поэтапное вращение эквивалентно повороту образца от 0 до 360° при фиксированном направлении магнитного поля.

В качестве легирующей магнитной примеси в настоящей работе использовался кобальт. Кроме образцов HgSe:Co, которые были ориентированными (рис. 1, б), исследовался специально неориентированный образец HgSe, содержащий немагнитную примесь Ga. Все образцы вырезались из наиболее однородной – средней части монокристаллических слитков, выращенных методом Бриджмена Под-

готовка образцов к измерениям проводилась путем шлифовки, полировки и травления в 5% растворе брома в изобутиловом спирте. Для изготовления омических токовых электродов использовалась амальгама галлия и серебра. Образцы имели форму прямоугольного параллелепипеда с сечением $\approx 1 \times 2$ мм² и длиной $\approx 8-10$ мм. Нумерация образцов, их основные физические параметры при $T = 300$ К и значения тока I для первичной цепи приведены в таблице. Все измерения проводились при коммутации тока через образец. Величина тока I_0 в зависимости от сопротивления образца варьировалась в интервале $\approx 300-500$ мкА. На рис. 1, б приведен вариант кристаллографических направлений, реализованный в образцах 1–3. Для образца 4 направления $\langle 100 \rangle$ и $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ менялись местами. Отметим, что величина холловской подвижности $\mu_H = R_H \sigma_0$ при температурах эксперимента 77 и 300 К для образцов 1–5 хорошо согласуется с полученной разными авторами в кристаллах HgSe зависимостью подвижности от концентрации электронов n_e [13, 14]. Этот факт можно рассматривать как свидетельство соответствия качества исследуемых образцов мировому уровню.

Результаты исследования и их обсуждение

Зависимость тока отражения $I_H = I_0 + \Delta I_0(H)$ от угла поворота α , полученная в магнитном поле $H = 20$ кЭ, показана на рис. 2 для образцов 2 и 3. Здесь $\Delta I_0(H)$ – добавка к току отражения в магнитном поле. Как видно, изменение знака α

проявляет нечетный вклад $(\Delta I_0)_{odd}$ в угловую зависимость тока I_H . Именно она является ответственной за поведение разности токов Холла. Зависимость искомой нечетной компоненты $(\Delta I_0)_{odd}$ от α при повороте от 0 до 360° приведена на рис. 3. Как показывают представленные на этом рисунке данные, понижение температуры от 300 до 77 К не влияет на характер угловой зависимости $(\Delta I_0)_{odd}$. Ее для исследованных образцов можно представить в виде эмпирического закона $(\Delta I_0)_{odd} = A \sin(\alpha + \varphi_0) = a \sin \alpha + b \cos \alpha$,

где $A = \sqrt{a^2 + b^2}$, $\tan \varphi_0 = b/a$. Представление $(\Delta I_0)_{odd}$ в виде суммы синуса и косинуса отражает протекание холловского тока при закорачивании сплошным токовым электродом попарно узких и широких боковых граней образца. Это связано соответственно с перпендикулярной ($\alpha = 90^\circ$) и параллельной ($\alpha = 0^\circ$) компонентами напряженности магнитного поля. Отсюда следует, что обнаруженная на эксперименте угловая зависимость нечетной компоненты тока отражения в образцах HgSe:Co и HgSe:Ga (рис. 3) связана не только со спецификой спонтанной спиновой поляризации в слабом магнетике, но также с неоднородным распределением концентрации электронов в образце.

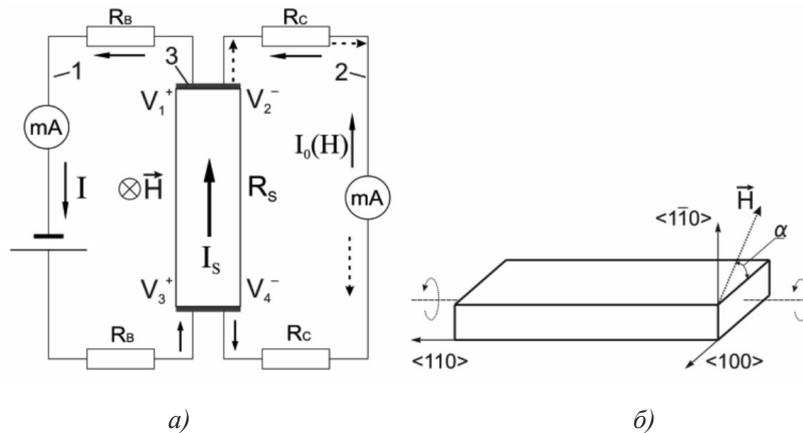


Рис. 1. (а) – Принципиальная схема для иллюстрации дифференциального метода тока Холла: 1 – высокоомная цепь с $R_B \sim 10^3$ Ом; сопротивление образца $R_S \sim 10^{-2}$ Ом; 2 – вторичная низкоомная цепь с $R_C \sim 1$; 3 – токовый электрод. (б) – Геометрия образцов с указанием кристаллографических направлений и оси вращения

Параметры образцов HgSe:Co и HgSe:Ga при $T = 300$ К

№	Примесь	Концентрация примеси, см ⁻³	$n_e \cdot 10^{18}$, см ⁻³	$\sigma_0 \cdot 10^4$, Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	$\mu_H \cdot 10^4$, см ² /В·с	I , мА
1	Co	$6 \cdot 10^{17}$	1,24	0,24	1,19	70
2	Co	$1,5 \cdot 10^{18}$	0,56	0,15	1,62	60
3	Co	$4 \cdot 10^{18}$	0,88	0,20	1,40	70
4	Co	$7 \cdot 10^{18}$	0,57	0,15	1,66	60
5	Ga	$5,5 \cdot 10^{18}$	5,6	0,6	0,67	80

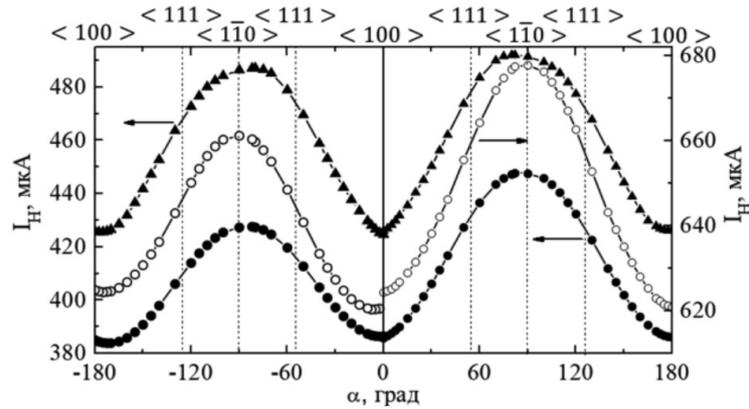


Рис. 2. Зависимость тока отражения I_H от угла поворота α для образца 2 (\circ) и 3 (\bullet , \blacktriangle) при температуре: 77 K (\blacktriangle) и 300 K (\circ , \bullet). Верхняя шкала здесь и на рис. 3 показывает кристаллографические направления

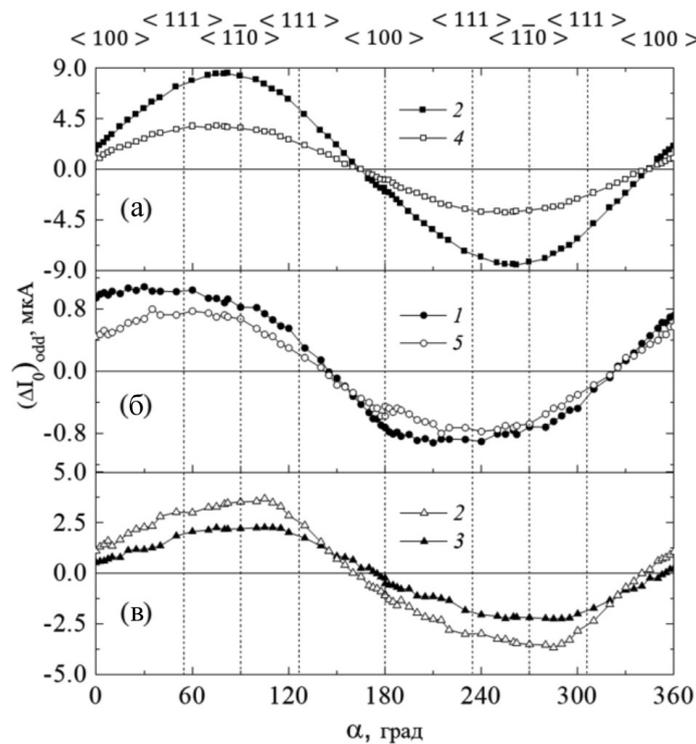


Рис. 3. Угловая зависимость нечетного вклада в ток отражения $(\Delta I_0)_{odd}$ в магнитном поле 20 кЭ при $T = 300$ K (панели а и б) и 77 K (панель в). Номера кривых совпадают с номерами образцов в таблице

Полученные угловые характеристики компоненты $(\Delta I_0)_{odd}$ позволяют провести исследование ее магнитополевой зависимости для угла поворота образца, при котором величина эффекта максимальна. Типичная зависимость $\Delta I_0(H) = I_H - I_0$, иллюстрирующая наличие нечетного вклада в ток отражения, показана на вставке к рис. 4 на примере образца 3 при $\alpha = 90^\circ$. Зависимость нечетной составляющей $(\Delta I_0)_{odd}$ от магнитного поля

для исследованных образцов представлена на рис. 4 и 5. Из рис. 5 видно, что для образца HgSe:Ga, который не является слабым магнетиком, зависимость $(\Delta I_0)_{odd}$ от магнитного поля близка к линейной (сплошная прямая на рис. 5). Очевидно, что угол наклона этой прямой отражает различие в величинах электронных концентраций вблизи двух токовых электродов. Для образцов HgSe:Co, в которых реализуется АЭХ, ха-

ракетер магнитополевой зависимости $(\Delta I_0)_{odd}$ меняется. Она является нелинейной в сравнительно низких магнитных полях и имеет линейный характер при дальнейшем увеличении магнитного поля (пунктирные прямые на рис. 4, 5). Полученный результат имеет два важных аспекта.

Во-первых, он указывает на наличие аномального вклада в разности токов Холла, который насыщается с ростом H так же как выявленный ранее аномальный вклад в холловское напряжение [6]. Можно дать следующую качественную интерпретацию этой особенности. Согласно теории [6, 7] электрическое поле \mathbf{E} , приложенное к системе поляризованных по спину электронов приводит в магнитном поле к возбуждению тока спонтанного намагничивания

$$\mathbf{j}_m = \sigma_m [\mathbf{h} \times \mathbf{E}], \quad (5)$$

где $\mathbf{h} = \mathbf{H}/H$ – единичный вектор. Оказывается, что кроме зависимости от магнитного и электрического поля ток спонтанного намагничивания согласно (5) определяется параметром σ_m , который имеет размерность проводимости. Этому параметру, характеризующему спонтанную намагниченность, можно придать смысл магнитной проводимости [7]. При этом ток спонтанного намагничивания приводит, в свою очередь, к добавлению в холловском токе проводимости к обычному недиссипативному члену «аномального» слагаемого – магнитной части локально равновесного тока, которая

равна во величине и противоположна по знаку току \mathbf{j}_m [7]. Таким образом, в эксперименте (рис. 4, 5) обнаружено насыщение аномального вклада в дифференциальный ток $(\Delta I_0)_{odd}$ с ростом магнитного поля. Для образцов HgSe:Co его можно связать с насыщением тока спонтанного намагничивания (5), отражающего насыщение спонтанной намагниченности поляризованных по спину электронов через параметр σ_m .

Во-вторых, линейная магнитополевая зависимость дифференциального тока $(\Delta I_0)_{odd}$ в области высоких магнитных полей (рис. 4, 5) свидетельствует о неоднородном распределении концентрации носителей тока в исследованных образцах. Продемонстрируем, как по формуле (4) оценить отношение параметров неоднородности β_{ij} при $\alpha = 90^\circ$. Рассмотрим в качестве примера образцы с номерами (3–5). После вычета аномального вклада из соответствующих зависимостей на рис. 4 и 5 для образцов 3 и 4 получим в поле $H = 20$ кЭ $(\Delta I_0)_{odd} \approx 5,4$ и $1,9$ мкА соответственно. Для образца 5 величина $(\Delta I_0)_{odd}$ заметно меньше и составляет в таком же поле $\approx 0,9$ мкА, что следует из рис. 3, б (кривая 5). Подставив из таблицы параметры l и n в формулу (4), найдем: $\beta_{34} = 3,8$, $\beta_{35} = 1,08$, $\beta_{54} = 3,5$. Таким образом, согласно критерию (4) наиболее однородным из трех аттестуемых образцов является образец 4, а самым неоднородным – образец 3.

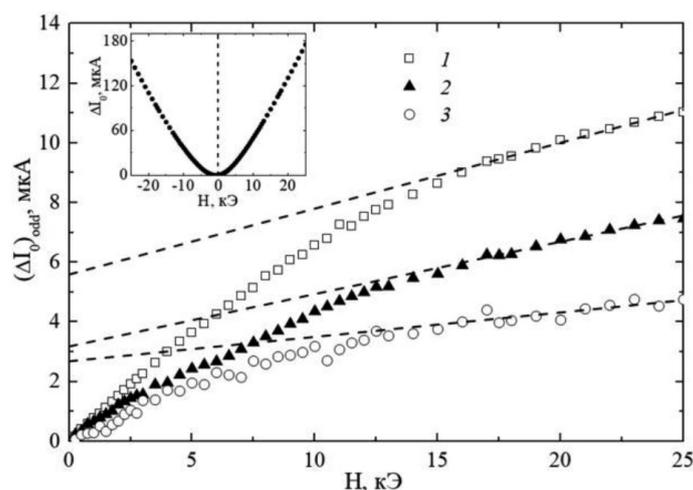


Рис. 4. Зависимость нечетного вклада в ток отражения $(\Delta I_0)_{odd}$ от магнитного поля для образца 2 (кривые 1, 3) и 3 (кривая 2). Значения температур: 300 К (кривые 1, 2) и 77 К (кривая 3). Кривая 2 получена при $\alpha = 60^\circ$, кривые 1, 3 – при $\alpha = 90^\circ$. Пунктирные линии – экстраполяция экспериментальных кривых линейной функцией в области высоких магнитных полей. На вставке: магнитополевая зависимость изменения полного тока отражения $\Delta I_0(H)$ для образца 3 при $T = 300$ К и $\alpha = 90^\circ$

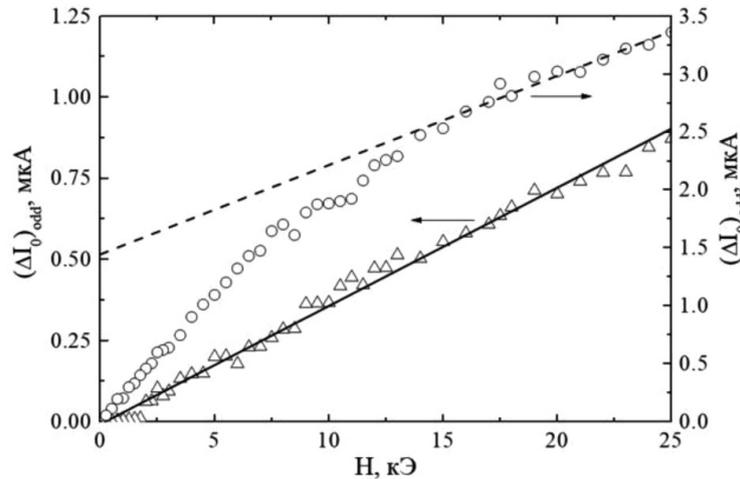


Рис. 5. Зависимость нечетного вклада в ток отражения $(\Delta I_0^{\text{odd}})$ от магнитного поля для образца 4 (\circ) и 5 (Δ) при $T = 300$ К. Пунктирная линия – экстраполяция экспериментальной зависимости для образца 4 линейной функцией в области высоких магнитных полей. Сплошная прямая – подгонка данных для образца 5 линейной функцией

Заключение

В рамках общего подхода, основанного на исследовании образцов HgSe:Co методом эффекта Холла, мы получили, что насыщение магнитопольевой зависимости дифференциального тока Холла в этой системе качественно коррелирует с обнаруженным ранее [6] в слабых магнетиках насыщением напряжения Холла с ростом магнитного поля. Этого следовало ожидать в силу соотношений (1) и (2). Вместе с тем из эксперимента следует, что дифференциальный метод тока Холла является более чувствительным для выявления АЭХ, чем холловское напряжение. Таким образом, развитый в настоящей работе подход к изучению роли токов намагничивания оказывается более прямым и наглядным, чем применявшийся ранее прецизионный анализ полевой зависимости холловского сопротивления. Представленный в работе дифференциальный метод тока Холла также может найти практическое применение для получения информации о степени неоднородности образцов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Электрон» Гр. № АААА-А18-118020190098-5) и при частичной поддержке гранта РФФИ (№ 18-32-00198 мол_а).

Список литературы

1. Окулов В.И. Эффекты резонансного рассеяния электронов на донорных примесях в полупроводниках // Физика низких температур. 2004. Т. 30. № 11. С. 1194–1202.
2. Lamonova K., Ivanchenko I., Orel S., Paranchich S., Tkach V., Zhitlukhina E., Popenko N., Pashkevich Yu. Spectroscopic evidence of spinel phase clustering in solid solutions $Hg_{1-x}Cr_xSe$ ($0.03 \leq x \leq 0.1$). Journal of Physics: Condensed Matter. 2009. Vol. 21. No. 4. P. 045603. DOI:10.1088/0953-8984/21/4/045603.

3. Bekirov B.E., Ivanchenko I.V., Popenko N.A., Bludov A.V., Pashchenko V. The features of quantum oscillations of the magnetization of HgSe: Fe crystals. Telecommunications and Radio Engineering. 2014. Vol. 73. No. 16. P. 1433–1442. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v73.i16.30.
4. Попенко Н., Бекиров Б., Иванченко И., Блудов А., Пащенко В. Концентрационные аномалии намагниченности кристаллов HgSe:Fe // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 100. № 4. С. 272–275.
5. Окулов В.И., Памятных Е.А., Силин В.П. Спонтанная спиновая поляризация систем примесных гибридных состояний электронов в полосе проводимости кристаллов // Физика низких температур. 2011. Т. 37. № 9–10. С. 1001–1007.
6. Lonchakov A.T., Okulov V.I., Pamyatnykh E.A., Govorkova T.E., Andriichuk M.A., Paranchich L.D., Bobin S.B., Deryushkin V.V. Anomalous galvanomagnetic effects due to spontaneous spin polarization of electrons in crystal with low concentration of 3d-transition element impurities. Solid State Phenomena. 2015. vol. 233–234. P. 456–459. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.233-234.456.
7. Окулов В.И., Памятных Е.А., Лончаков А.Т. Термодинамический аномальный эффект Холла: квантовый режим // Физика низких температур. 2014. Т. 40. № 11. С. 1322–1324.
8. Николаев С.Н., Аронзон Б.А., Рыльков В.В., Тугушев В.В., Демидов Е.С., Левчук С.А., Лесников В.П., Подольский В.В., Гареев Р.Р. Аномальный эффект Холла в Si пленках, сильно легированных Mn // Письма в ЖЭТФ. 2009. Т. 89. № 12. С. 707–712.
9. Овешников Л.Н., Кульбачинский В.А., Давыдов А.Б., Аронзон Б.А. Аномальный эффект Холла в 2D-гетероструктуре: квантовая яма GaAs/InGaAs/GaAs с отдаленным δ -слоем Mn // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 100. № 9. С. 648–653.
10. Черноглазов К.Ю., Николаев С.Н., Рыльков В.В., Семисалова А.С., Зенкевич А.В., Тугушев В.В., Васильев А.Л., Чесноков Ю.М., Пашаев Э.М., Матвеев Ю.А., Грановский А.Б., Новодворский О.А., Веденев А.С., Бугаев А.С., Драченко А., Жоу Ш. Аномальный эффект Холла в поликристаллических пленках $Si_{1-x}Mn_x$ ($x \approx 0.5$) с самоорганизованным распределением кристаллитов по форме и размерам // Письма в ЖЭТФ. 2016. Т. 103. № 7. С. 539–546.
11. Лончаков А.Т., Окулов В.И., Бобин С.Б., Дерюшкин В.В., Говоркова Т.Е. Наблюдение проявлений токов спонтанного намагничивания в кристаллах HgSe с низкой концентрацией примесей 3d-переходного металла // Письма в ЖЭТФ. 2017. Т. 43. № 1. С. 30–37.
12. Кучис Е.В. Методы исследования эффекта Холла. М.: Советское радио, 1974. 328 с.
13. Dietl T., Szymańska W. Electron scattering in HgSe. Journal of Physics and Chemistry of Solids. 1978. vol. 39. no. 10. P. 1041–1057.
14. Lehoczky S.L., Broerman J.G., Nelson D.A., Whittsett C.R. Temperature-dependent electrical properties of HgSe. Physical Review B. 1974. Vol. 9. No. 4. P. 1598.

УДК 537.633.9

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЛАМИНАТНЫХ СТРУКТУРАХ FeCoGa/Metglas/LGT С ТОНКОПЛЕНОЧНЫМИ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМИ СЛОЯМИ

^{1,2}Носов А.П., ¹Грибов И.В., ¹Москвина Н.А., ¹Дружинин А.В., ¹Осотов В.И.

¹ФГБУН «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева» Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург, e-mail: nossov@imp.uran.ru;

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург

Экспериментально исследован магнитоэлектрический эффект в трехслойных структурах, состоящих из двухслойного магнитострикционного ферромагнетика /пьезоэлектрика/ двухслойного магнитострикционного ферромагнетика. В качестве пьезоэлектрика использовали пластины монокристаллов лантангаллиевого танталата $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$. Двухслойные магнитострикционные ферромагнетики получали нанесением тонких пленок сплава типа «галфенол» состава $\text{Fe}_{0.62}\text{Co}_{0.19}\text{Ga}_{0.19}$ на аморфные ленты типа «Метглас» методом импульсного лазерного осаждения. За счет отрицательного знака коэффициента магнитострикции в сплаве типа «галфенол» и положительного знака коэффициента магнитострикции в аморфной ленте в двухслойной структуре магнитострикционного ферромагнетика получали градиент коэффициента магнитострикции. Исследована зависимость величины магнитоэлектрического коэффициента трехслойных структур от статических магнитных полей величиной до 130 Э и переменных магнитных полей с частотами от 20 Гц до 10 кГц, коэффициенты линейности, частотные зависимости магнитных шумов. Экспериментально показано, что использование двухслойного магнитострикционного ферромагнетика с градиентом коэффициента магнитострикции по толщине позволяет повысить максимальную величину магнитоэлектрического коэффициента, коэффициенты линейности в области нулевых полей и в области полей ~ 40 Э во всем исследованном диапазоне частот, а также существенно снизить уровень магнитных шумов.

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, сплавы системы Fe-Ga, лантангаллиевый танталат

MAGNETOELECTRIC EFFECT IN LAMINATED STRUCTURES FeCoGa/Metglas/LGT WITH THIN FILM MAGNETOSTRICTIVE LAYERS

^{1,2}Nosov A.P., ¹Gribov I.V., ¹Moskvina N.A., ¹Druzhinin A.V., ¹Osotov V.I.

¹M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, e-mail: nossov@imp.uran.ru;

²Ural Federal University, Ekaterinburg

Magnetolectric effect in three-layered structures of the type bilayered magnetostrictive ferromagnet / piezoelectric / bilayered magnetostrictive ferromagnet was investigated experimentally. The plates of lanthanum gallium tantalate $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ single crystal were used as piezoelectric. Bilayered magnetostrictive ferromagnets were obtained by pulsed laser deposition of thin film of the «galfenol»-type $\text{Fe}_{0.62}\text{Co}_{0.19}\text{Ga}_{0.19}$ alloy on the surface of the amorphous «Metglas»-type alloy. Owing to the negative sign of magnetostriction coefficient of the «galfenol»-type alloy and positive sign of magnetostriction coefficient of the amorphous alloy gradient of magnetostriction coefficient was realized in bilayers. The dependence of magnitude of the magnetoelectric coefficient on the dc magnetic fields of up to 130 Oe and ac magnetic fields with frequencies from 20 Hz to 10 kHz, linearity coefficients, and magnetic noise were investigated. It is shown experimentally that utilization of bilayered magnetostrictive ferromagnet permits to increase the maximum value of magnetoelectric coefficient, linearity coefficients both near zero magnetic fields and in the fields of ~ 40 Oe, and substantially lower the magnetic noise.

Keywords: magnetolectric effect, Fe-Ga type alloys, lanthanum gallium tantalite, thin films

Необходимость создания нового поколения датчиков статических и переменных магнитных полей для нужд магнитоэлектроники, информатики и робототехники стимулирует активные исследования новых физических эффектов, которые могут быть использованы для их разработки. Поэтому в последние годы ведется активное изучение магнитоэлектрического эффекта (МЭ) в многослойных структурах типа магнито-стрикционный ферромагнетик /пьезоэлектрик/ магнитострикционный ферромагнетик (МФ/П/МФ) [1, 2]. В них реализована магнитомеханическая связь между слоями,

обладающими пьезо- и магнитострикционными свойствами. Деформацию в таких структурах можно осуществить воздействием либо электрическим полем на пьезоэлектрик, либо магнитным полем на ферромагнетик. При приложении переменного магнитного поля H_{ac} с частотой f_{ac} происходит деформация магнитострикционных ферромагнитных слоев, которая из-за магнитомеханической связи между слоями передается пьезоэлектрику. При деформации пьезоэлектрического слоя за счет пьезоэффекта происходит генерация электрических зарядов и в структуре возникает электриче-

ское напряжение. Количественной характеристикой МЭ является магнитоэлектрический коэффициент по напряжению (МЭКН) $\alpha = dE/H_{ac} = dV/(tdH_{ac})$, где dV – величина электрического напряжения, t – толщина слоя пьезоэлектрика. На величину α влияют физические характеристики как магнитострикционного ферромагнетика, так и пьезоэлектрика: пьезомагнитный коэффициент $q = d\lambda/dH_{dc}$, где λ – коэффициент магнитострикции, H_{dc} – статическое магнитное поле, пьезомодуль d и относительная диэлектрическая проницаемость ϵ .

Для потенциальных практических применений желательно иметь структуры с возможно большей величиной α , что требует подробного исследования влияния и оптимизации физических характеристик как отдельных слоев, так и структуры в целом. Возможным путем увеличения α является использование в слоях материалов, имеющих неоднородные физические свойства по толщине: коэффициента λ для ферромагнитной подсистемы и d для сегнетоэлектрической подсистемы. В случае ферромагнитной подсистемы можно использовать материалы, имеющие разные знаки коэффициента магнитострикции, то есть создавать слои с большим градиентом коэффициента магнитострикции по толщине слоя. Повышение величины α за счет d пьезоэлектрических слоев, а также q ферромагнитных слоев в многослойной структуре, характеризуемой градиентом свойств по толщине, продемонстрировано в [3]. Получение градиента коэффициента магнитострикции по толщине только ферромагнитного слоя реализовано в [4].

Для возможных практических применений большой интерес представляют МФ/П/МФ структуры, предназначенные для регистрации слабых (до 100 Э) магнитных полей. Поэтому в качестве ферромагнитных слоев в многослойных структурах широко используют магнитомягкие магнитострикционные материалы, такие как аморфные сплавы типа «Метглас» (Metglas) [5]. Эти сплавы имеют большие величины q , малую коэрцитивную силу, высокую начальную магнитную проницаемость, Коэффициент магнитострикции этих сплавов положителен. Поверхность характеризуется малой шероховатостью, на которую можно наносить тонкие пленки металлов, пьезо- и сегнетоэлектрических материалов. При нанесении тонкой пленки металлического магнитострикционного сплава другого состава, имеющего отрицательную магнитострикцию, такая двухслойная структура будет характеризоваться градиентом λ по толщине, что может привести к увеличению величины q ферромагнитного слоя в целом.

Наиболее широко используемыми материалами пьезоэлектрических слоев в МЭ структурах являются различные типы пьезокерамик, содержащих свинец [4, 6]. Основным достоинством этих типов пьезокерамик является большая величина d . Однако они характеризуются сравнительно узким температурным рабочим диапазоном и низкой температурой Кюри. Кроме того, в последние годы все более актуальными являются проблемы перехода к пьезокерамикам, не содержащим свинец. Сравнительно недавно в работах [7, 8] была продемонстрирована перспективность использования в МЭ структурах сегнетоэлектрического материала состава $La_3Ga_{3,5}Ta_{0,5}O_{14}$ (лантангаллиевого танталата, LGT), не содержащего свинец. Достоинством этого материала является возможность работы при высоких температурах, поскольку его температура плавления составляет 1450 С. В качестве материала магнитострикционного слоя в работах [7, 8] использовали сплав типа «пермендюр» (Fe-Co-V).

Цель исследования: изучить влияние градиента коэффициента магнитострикции по толщине магнитострикционного слоя на МЭКН в структурах МФ/П/МФ, в которых в качестве сегнетоэлектрика использован лантангаллиевый танталат. Градиент коэффициента магнитострикции по толщине МФ слоя создавался путем нанесения тонкой пленки $Fe_{0,62}Co_{0,19}Ga_{0,19}$ с отрицательным значением λ на аморфную ленту типа «Метглас» с положительным значением λ .

Материалы и методы исследования

Пластины монокристалла лантангаллиевого танталата $La_3Ga_{3,5}Ta_{0,5}O_{14}$ (LGT, X-срез) [9] с типичными размерами $5 \times 5 \times 0,3$ мм³ были использованы в качестве материала пьезоэлектрического слоя. Аморфные ленты сплава типа «Метглас» состава 440 А [10] производства компании «Гаммамет», Екатеринбург, Россия, толщиной 34 мкм без термообработок применяли в качестве материала магнитострикционного ферромагнитного слоя. Зависимости $\lambda(H_{dc})$ измеряли с использованием тензодатчика. Величину коэффициента магнитострикции насыщения определяли при двух ориентациях H_{dc} : вдоль ($\lambda_{11} = +20 \times 10^{-6}/\text{Э}$) и поперек ($\lambda_{12} = -15 \times 10^{-6}/\text{Э}$) направления прокатки. Величину пьезомагнитного коэффициента q вычисляли как $q = q_{11} + q_{12} = d\lambda_{11}/dH_{dc} + d\lambda_{12}/dH_{dc} = +0,46 \times 10^{-6}/\text{Э}$.

Двухслойную структуру магнитострикционного слоя получали нанесением методом импульсного лазерного осаждения на поверхность аморфной ленты 440 А тонких пленок $Fe_{0,62}Co_{0,19}Ga_{0,19}$. Металлические сплавы составов «галфенол» Fe-Ga являются магнитострикционными материалами с большими значениями λ . Коэффициент магнитострикции этих сплавов имеет отрицательный знак. Введение в сплавы Co приводит к росту λ . Исследование концентрационных зависимостей коэффициента магнитострикции тонких пленок системы Fe-Co-Ga [11] показало, что состав $Fe_{0,62}Co_{0,19}Ga_{0,19}$ характеризовался максимальным значением λ .

Пленки $\text{Fe}_{0,62}\text{Co}_{0,19}\text{Ga}_{0,19}$ толщиной 25 нм на поверхность аморфной ленты 440А наносили с использованием эксимерного лазера CL 7050 (компания «Оптосистемь», г. Троицк, Московская область, Россия [12]). В процессе нанесения температуру аморфной ленты поддерживали при значении 200 °С.

Исследовали МЭ свойства МФ/П/МФ структур, в которых в качестве пьезоэлектрика использовали пластины монокристалла LGT. Были исследованы структуры двух составов. В одном случае материалом верхнего и нижнего слоев были аморфные ленты 440А (далее – образцы (440А)). В другом случае использовали ленты 440А с тонкой пленкой $\text{Fe}_{0,62}\text{Co}_{0,19}\text{Ga}_{0,19}$ (далее – образцы (440А/FeCoGa)). Трехслойную МФ/П/МФ структуру изготавливали путем склеивания отдельных слоев цианокрилатным клеем. По сравнению с двухслойной МФ/П структурой трехслойная МФ/П/МФ структура характеризуется большей величиной МЭКН [1].

Измерения МЭКН выполняли в условиях приложения статического H_{dc} и переменного H_{ac} магнитных полей с частотой f_{ac} . Возникающее напряжение dV на пьезоэлектрическом слое регистрировали синхронным детектором. Измеряли зависимости МЭКН α от H_{dc} и f_{ac} .

Измерения магнитных шумов проводили в камере с трехслойным магнитным экраном приложении к образцу переменного магнитного поля напряженностью 100–900 микроэрстед и усиления напряжения с образца предусилителем с большим импедансом и низким уровнем собственных шумов (типа SRS SR560). Затем сигнал подавали на анализатор спектра модели SRS SR780.

Все измерения выполняли при комнатной температуре.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений МЭКН для $f_{ac} = 110, 500$ Гц и 10 кГц для образцов (440А) представлены на рис. 1. Все зависимости $\alpha(H_{dc})$ имеют сходную форму с максимумом при $H_{dc} \sim 70$ Э. Это значение H_{dc} соответствует положению максимума на зависимости $q(H_{dc})$.

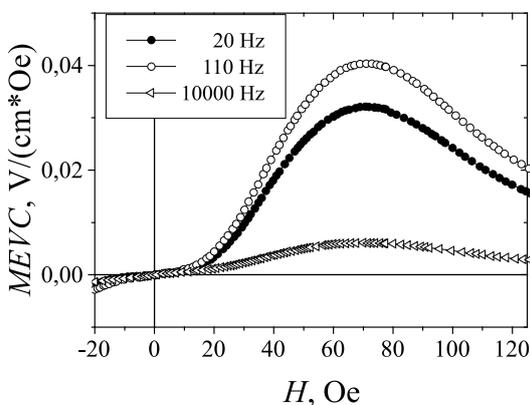


Рис. 1. Полевая зависимость МЭКН для образца (440А). $f_{ac} = 20, 110$ Гц и 10 кГц

Следует отметить слабую зависимость от частоты положений максимумов кривых $\alpha(H_{dc})$. Однако максимальная величина α при $H_{dc} \sim 70$ Э существенно и немонотонно зависит от частоты. Для всех частот при $H_{dc} > 250$ Э значения α постепенно уменьшаются и становятся существенно малыми, по сравнению с максимальными. Вид зависимости $\alpha(H_{dc})$ и $q(H_{dc})$ качественно подобен.

Для МФ/П/МФ структур с градиентом коэффициента магнитострикции по толщине магнитострикционного слоя нанесение тонкой пленки $\text{Fe}_{0,62}\text{Co}_{0,19}\text{Ga}_{0,19}$ с отрицательным коэффициентом магнитострикции качественно не изменяет вид зависимостей $\alpha(H_{dc})$, однако влияет на максимальную величину МЭКН. Это иллюстрирует рис. 2, на котором представлены сравнительные данные для структур с магнитострикционными слоями только с аморфной лентой (440А) и аморфной лентой с пленкой $\text{Fe}_{0,62}\text{Co}_{0,19}\text{Ga}_{0,19}$ (440А/FeCoGa). Из приведенных данных видно, что градиент коэффициента магнитострикции по толщине магнитострикционных слоев приводит к увеличению максимальной величины МЭКН для всех исследованных частот.

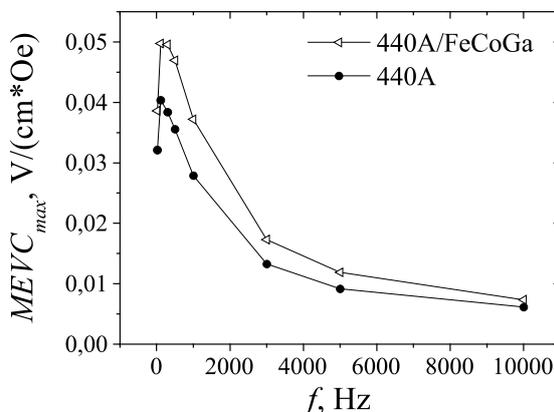


Рис. 2. Влияние тонкой пленки $\text{Fe}_{0,62}\text{Co}_{0,19}\text{Ga}_{0,19}$ на частотные зависимости $\alpha(H_{dc} \sim 70$ Э). Данные для образцов (440А) и (440А/FeCoGa)

Для возможных применений МЭ ламинатных структур в качестве датчиков статических и переменных магнитных полей важное значение имеет линейность зависимостей $\alpha(H_{dc})$ [13]. Как видно из рис. 3, в общем случае на зависимостях $\alpha(H_{dc})$ можно выделить два коэффициента линейности (КЛ): $dMEVC/dH_{lowH}$ вблизи нуля или в области слабых магнитных полей и $dMEVC/dH_{highH}$ в области «сильных» магнитных полей ($H_{dc} \sim 40$ Э). Первый КЛ может представлять интерес в устройствах, предназна-

ченных для регистрации предельно слабых полей, а второй – при работе на устройствах со смещением рабочей точки постоянным магнитным полем. Для функционирования обоих вариантов устройств величина КЛ должна быть по возможности большей.

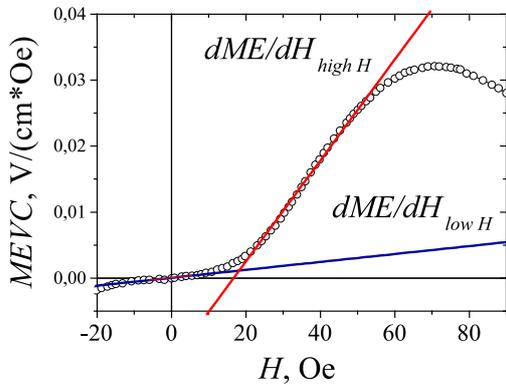
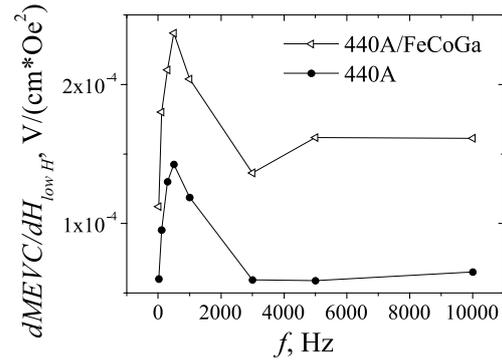


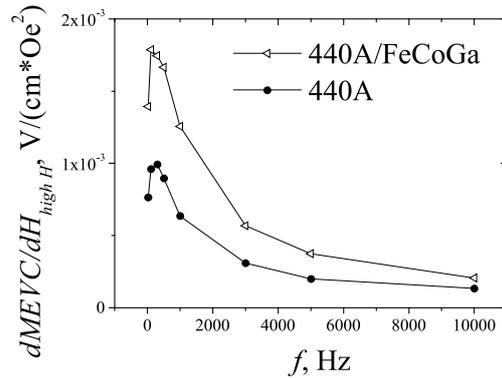
Рис. 3. Определения КЛ для слабых ($dMEVC/dH_{lowH}$) и «сильных» ($dMEVC/dH_{highH}$) магнитных полей

Рис. 4 иллюстрирует влияние градиента коэффициента магнитоэлектричества по толщине магнитоэлектрических слоев на частотные зависимости коэффициентов линейности МЭ ламинатных структур. Как видно из приведенных данных, нанесение тонких пленок $Fe_{0.62}Co_{0.19}Ga_{0.19}$ приводит к росту величин коэффициентов линейности для всех исследованных частот.

Согласно [1] для многослойных структур типа МФ/П/МФ величина МЭКН пропорциональна отношению d_{11}/ϵ_{11} . Для монокристаллов пьезоэлектриков составов LGT относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_{11} слабо зависит от частоты до частот порядка 10 кГц. Поэтому качественно наблюдающиеся закономерности изменений зависимостей $\alpha(f_{ac})$ могут быть объяснены частотными изменениями характеристик МФ слоев. Если определить коэффициент магнитомеханической связи как $k_m = (4\pi\lambda(f_{ac})\mu_r'/E)^{1/2}$, где $\lambda(f_{ac})$ – коэффициент магнитоэлектричества в переменном магнитном поле, пропорциональный q , μ_r' – действительная часть относительной магнитной проницаемости, E – модуль Юнга [1]. В нашем случае увеличение максимального значения α на всех частотах для образцов (440A/FeCoGa), по-видимому, связано с ростом $\lambda(f_{ac})$ за счет градиента коэффициента магнитоэлектричества по толщине магнитоэлектрических слоев. Для исследованных образцов влияние этого фактора представляется более существенным, чем возможные изменения k_m за счет μ_r' .



а)



б)

Рис. 4. Частотные зависимости КЛ для слабых (а) и «сильных» (б) магнитных полей. Данные для образцов (440A) и (440A/FeCoGa)

На рис. 5 представлены данные по магнитным шумам в диапазоне частот 0,5–14 Гц. Из приведенных данных видно, что уровень шумов существенно ниже для структур с градиентом коэффициента магнитоэлектричества по толщине магнитоэлектрических слоев. Для частоты 1 Гц уровень шумов в структуре с магнитоэлектрическими слоями аморфная лента/пленка $Fe_{0.62}Co_{0.19}Ga_{0.19}$ почти в три раза ниже, чем в структуре только с аморфной лентой.

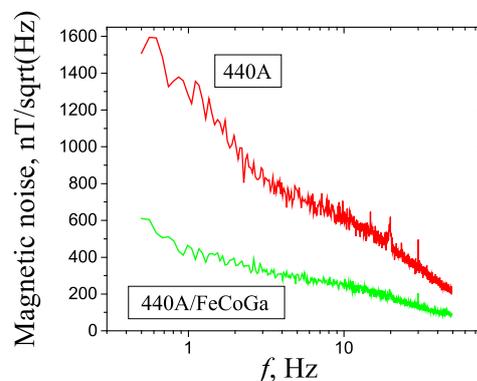


Рис. 5. Частотные зависимости магнитных шумов для образцов (440A) и (440A/FeCoGa)

Заклучение

Экспериментально исследовано влияние градиента коэффициента магнитострикции ферромагнитных слоев в трехслойных структурах типа двухслойный магнитострикционный ферромагнетик/пьезоэлектрика/двухслойный магнитострикционный ферромагнетик на величину магнитоэлектрического коэффициента по напряжению. В качестве двухслойного магнитострикционного ферромагнетика использовали тонкие пленки $\text{Fe}_{0.62}\text{Co}_{0.19}\text{Ga}_{0.19}$ с отрицательным коэффициентом магнитострикции, нанесенные импульсным лазерным осаждением на аморфные ленты типа «Метглас» с положительным коэффициентом магнитострикции. В качестве пьезоэлектрика использованы пластины монокристалла LGT. Показано, что структуры со слоями с градиентом коэффициента магнитострикции характеризуются большими значениями МЭКН, коэффициентов линейности, низкими магнитными шумами. Результаты могут быть использованы при создании МЭ датчиков статических и переменных магнитных полей, работающих в диапазоне повышенных температур.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (тема АААА-А18-118020290104-2).

Список литературы

1. Srinivasan G. Magnetolectric composites. *Annu. Rev. Mater. Res.* 2010. vol. 40. P. 153–178. DOI: 10.1146/annurev-matsci-070909-104459.
2. Sun N.X., Srinivasan G. Voltage control of magnetism in multiferroic heterostructures and devices. *SPIN*. 2012. vol. 2. no. 3. 1240004 (46 p.). DOI: 10.1142/S2010324712400048.
3. Petrov V.M., Srinivasan G. Enhancement of magneto-electric coupling in functionally graded ferroelectric and ferromagnetic bilayers. *Physical Review B*. 2008. vol. 78. 184421 (8 p.). DOI: 10.1103/PhysRevB.78.184421.
4. Gribov I.V., Osotov V.I., Nosov A.P., et al. Magneto-electric effects in functionally stepped magnetic nanobilayers on ferroelectric substrates: Observation and theory on the influence of interlayer exchange coupling. *Journal of Applied Physics*. 2014. vol. 115. P. 193909–193908. DOI: 10.1063/1.4878458.
5. Sreenivasulu G., Mandal S.K., Bandekar S., et al. Low-frequency and resonance magnetolectric effects in piezoelectric and functionally stepped ferromagnetic layered composites. *Phys.Rev.B*. 2011. Vol. 84. 144426 (6 p.). DOI: 10.1103/PhysRevB.84.144426.
6. More-Chevalier J., Lüders U., Cibert C., et al. Magneto-electric coupling in $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ -Galfenol thin film heterostructures. *Applied Physics Letters*. 2015. vol. 107. P. 252903–252906. DOI: 10.1063/1.4938218.
7. Sreenivasulu G., Fetisov L.Y., Fetisov Y.K., Srinivasan G. Piezoelectric single crystal langatate and ferromagnetic composites: Studies on low-frequency and resonance magneto-electric effects. *Applied Physics Letters*. 2012. vol. 100. 052901 (4 p.). DOI: 10.1063/1.3679661.
8. Sreenivasulu G., Qu P., Piskulich E., et al. Shear strain mediated magneto-electric effects in composites of piezoelectric lanthanum gallium silicate or tantalate and ferromagnetic alloys. *Applied Physics Letters*. 2014. vol. 105. P. 32409–32408. DOI: 10.1063/1.4891536.
9. Бурдин Д.А., Фетисов Л.Ю., Фетисов Ю.К., Чашин Д.В., Экономов Н.А. Резонансный магнитоэлектрический эффект без поля смещения в монокристаллической структуре пьезоэлектрический лангатаг-ферромагнетик с гистерезисом // *Журнал технической физики* 2014. Т. 84. № 9. С. 90–95.
10. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Екатеринбург: Изд-во «Урал» Уральского университета, 2002. 384 с.
11. Jen S.U., Tsai T.L., Kuo P.C., et al. Magnetostrictive and structural properties of FeCoGa films. *Journal of Applied Physics*. 2010. vol.107. 013914 (4 p.). DOI: 10.1063/1.3284962.
12. Vartapetov S.K., Zakhryapa A.V., Kozlovsky V.I., et al. Study of the formation of a microrelief on ZnSe- and CdSe-crystal surfaces ablated by excimer KrF-laser radiation. *Quantum Electronics*. 2016. Vol. 46. No. 10. P. 903–910. DOI:10.1088/0953-8984/21/4/045603.
13. Shen L., Menghui Li M., Junqi Gao J., et al. Magneto-electric nonlinearity in magnetolectric laminate sensors. *Journal of Applied Physics*. 2011. vol. 110. 114510 (6 p.). DOI: 10.1063/1.3665130.

УДК 546.1

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ $As_2Te_3-In_2Te_3$

¹Алиев И.И., ²Ахмедова Дж.А., ³Шафагатова Г.Г.

¹Институт катализа и неорганической химии имени М.Ф. Нагиева Национальной АН
Азербайджана, Баку, e-mail: aliyevimir@rambler.ru;

²Адыяманский государственный университет, факультет искусств и наук,
Турция, e-mail: cahmedova@adiyaman.edu.tr;

³Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку

Исследование характера взаимодействия в системе $As_2Te_3-In_2Te_3$ проведено методами физико-химического анализа ДТА, РФА, МСА, а также измерением микротвердости и плотности, и построена фазовая диаграмма. Выявлено, что система $As_2Te_3-In_2Te_3$ является квазибинарной эвтектического типа. В системе $As_2Te_3-In_2Te_3$ в соотношении компонентов 1:1 образуется одно новое химическое соединение состава $InAsTe_3$. Соединение $InAsTe_3$ образуется по перитектической реакции при 395 °С, $L + In_2Te_3 \leftrightarrow InAsTe_3$. Для подтверждения существования соединения $InAsTe_3$ проводили рентгенофазовый анализ сплавов, содержащих 30, 50 и 70 мол. % In_2Te_3 . На дифрактограммах расположение межплоскостных расстояний и величина интенсивностей дифракционных максимумов новой фазы отличаются от таковых исходных компонентов. На основе исходных компонентов обнаружены ограниченные области твердых растворов, которые на основе As_2Te_3 составляют 3 мол. % In_2Te_3 , а на основе In_2Te_3 – 5 моль. % As_2Te_3 . Ликвидус системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ ограничивается кривыми моновариантных равновесий γ -фазы $InAsTe_3$ и α -фазы. γ -фазы и $InAsTe_3$, которые между собой образуют эвтектику, состав которой отвечает 15 мол. % In_2Te_3 и температура 265 °С. В области концентраций 3–50 мол. % In_2Te_3 ниже линии солидуса кристаллизуются двухфазные сплавы ($\gamma + InAsTe_3$), а в области 50–95 мол. % In_2Te_3 – ($\alpha + InAsTe_3$).

Ключевые слова: фаза, система, квазибинарный, сингония, солидус, ликвидус

PHASE EQUILIBRIA IN THE $As_2Te_3-In_2Te_3$ SYSTEM

¹Aliev I.I., ²Ahmedova C.A., ³Shafagatova G.G.

¹Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after M.F. Nagiyev of the National Academy
of Sciences of Azerbaijan, Baku, e-mail: aliyevimir@rambler.ru;

²Adiyaman State University, Faculty of Arts and Sciences, Chemistry Department,
Turkey, e-mail: cahmedova@adiyaman.edu.tr;

³Azerbaijan State Pedagogical University, Baku

The characterization of the interaction in the $As_2Te_3-In_2Te_3$ system has been carried out using the methods of physicochemical analysis of DTA, XRD, MSA, as well as microhardness and density measurements, and a phase diagram was constructed. It is revealed that the $As_2Te_3-In_2Te_3$ system is of quasi-binary eutectic type. In the $As_2Te_3-In_2Te_3$ system, in the ratio of 1:1 components, one new chemical compound of the $InAsTe_3$ composition is formed. The $InAsTe_3$ compound is formed by the peritectic reaction at 395 °С, $L + In_2Te_3 \leftrightarrow InAsTe_3$. To confirm the compound $InAsTe_3$, x-ray phase analysis of alloys containing 30, 50, and 70 moles was performed. % In_2Te_3 . On diffractograms, the arrangement of the interplanar distances and the intensity of the diffraction maxima of the new phase differ from those of the original components. Based on the initial components, limited regions of solid solutions were found, which, on the basis of As_2Te_3 , make up 3 mol. % In_2Te_3 , and on the basis of In_2Te_3 - 5 mol. % As_2Te_3 . The liquidus of the $As_2Te_3-In_2Te_3$ system is limited by the monovariant equilibrium curves of the $InAsTe_3$ γ -phase and α -phase. The γ -phases and $InAsTe_3$, between themselves form a eutectic, the composition of which corresponds to 15 mol. % In_2Te_3 and temperatures of 265 °С. In the concentration range of 3-50 mol. % In_2Te_3 below the solidus line, two-phase alloys ($\gamma + InAsTe_3$) crystallize, and in the region of 50-95 mol. % In_2Te_3 – ($\alpha + InAsTe_3$).

Keywords: phases, system, quasi-binary, syngony, solidus, liquidus

Системы $As_2X_3-In_2X_3$ ($X=S, Se, Te$) относятся к системам, содержащим, халькогениды и являются полупроводниками. Их исследование представляет практический интерес, поскольку в рассматриваемых системах образуется ряд фаз, которые служат основой для создания материалов электронной промышленности. Халькогениды мышьяка и сплавы на их основе являются фоточувствительными материалами и используются в ИК-оптике, цветном телевидении и ячейках памяти [1–3].

Сесквихалькогениды сульфиды, селениды и теллуриды индия и твердые растворы

на их основе широко применяются как фоточувствительные и термоэлектрические материалы, которые применяются в электронной технике [4, 5]. Поэтому выявление характера фазового равновесия при взаимодействии As_2Te_3 и In_2Te_3 представляется актуальным.

Целью настоящей работы является изучение характера химического взаимодействия в системе $As_2Se_3-In_2Te_3$, а также определение новых фаз и твердых растворов полупроводниковых свойств.

В литературе исследованы многокомпонентные системы с участием халькогенидов мышьяка [6–8].

В настоящей работе приводятся результаты исследования системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ изучения некоторых физико-химических свойств обнаруженных новых фаз. Характеристики исходных компонентов исследуемой системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ приведены ниже.

Соединение As_2Te_3 плавится по дистектической реакции при $381^\circ C$ и кристаллизуется в моноклинной сингонии (пр. гр. $C2/m$) с параметрами решетки: $a = 14,339$; $b = 4,006$; $c = 9,873$ Å, $\beta = 95^\circ$ [9]. Плотность и микротвердость этого соединения равны $\rho = 5,40$ г/см³ и $H_u = 860$ МПа.

Теллурид индия In_2Te_3 обладает двумя полиморфными модификациями: высокотемпературная β -модификация плавится конгруэнтно при $667^\circ C$ (плотность $5,79$ г/см³), а низкотемпературная α -модификация плавится при $617^\circ C$ (плотность $5,73$ г/см³). α -фаза кристаллизуется в кубической сингонии с параметрами решетки: $a = 18,50$ Å [10].

Материалы и методы исследования

Синтез сплавов системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ проводился путем непосредственного взаимодействия стехиометрических количеств составляющих компонентов в кварцевых ампулах в вакууме $0,1333$ Па. Максимальная температура при этом составляла $1000^\circ C$. С целью достижения равновесного состояния синтезированных сплавов их отжигали при температуре 260 и $390^\circ C$ в течение 650 ч.

Диаграмму состояния системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ построили в результате исследования методами ДТА, РФА, МСА и измерением микротвердости и плотности.

ДТА сплавов проводили на приборе TERMOSKAN-2 со скоростью нагрева 10 град/мин. Микроструктуру исследовали с помощью микроскопа МИМ-8 на предварительно отшлифованных и полированных пастой ГОИ образцах. Травителем для выявления микроструктуры служила смесь $HNO_3:H_2O_2=2:1$, время травления составляло примерно 20 с.

РФА осуществляли на рентгеновском дифрактометре модели D2 PHASER с $SiKa$ -излучением и никелевым фильтром. Образцы для съемки готовили прессованием порошка исследуемого вещества в держателе из слюды. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3. Для сплавов, богатых In_2Te_3 , применялась нагрузка в 15 г, а для остальных сплавов нагрузка составляла 10 г. Плотность полученных сплавов определяли пикнометрическим взвешиванием, в качестве рабочей жидкости был использован толуол.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные сплавы системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ компактные, от серебристо-серого до черного цвета. Исследованы устойчивости сплавов системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ по отношению к воде, воздуху и органическим растворителям, растворяется в минеральных кислотах и щелочах. Некоторые физико-химические данные сплавов системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ представлены в таблице.

Состав, результаты ДТА, измерения микротвердости и определения плотности сплавов системы $As_2Te_3-In_2Te_3$

Состав мол %		Термические эффекты нагрева, $^\circ C$	Плотность 10^3 кг/м ³	Микротвердость фаз, МПа		
As_2Te_3	In_2Te_3			γ	$InAsTe_3$	α
				P = 0,10H		P = 0,15H
100	0,0	381	6,25	650	—	—
99	1,0	380	6,22	660		
97	3,0	330,377	6,12	710	—	—
95	5,0	300,370	6,00	710	—	—
90	10	265,330	5,95	710	—	—
85	15	265	5,80	эвт.	эвт.	—
80	20	265,320	5,75	—	—	—
70	30	265,380	5,66	—	770	—
60	40	265,395,460	5,60	—	770	—
55	45	265,395,490	5,57	—	760	—
50	50	395,525	5,59	—	730	—
45	55	350,395,550	5,60	—	750	—
40	60	350,395,575	5,63	—	750	1600
30	70	350,395,600	5,66	—	760	1600
25	75	350,395,610	5,67	—	760	1600
20	80	350,440,625	5,68	—	760	1600
10	90	350,500,550,645	5,69	—	—	1600
5,0	95	465,570,600,660	5,70	—	—	1650
3,0	97	525,590,665	5,71	—	—	1650
0,0	100	617,667	5,73	—	—	1660

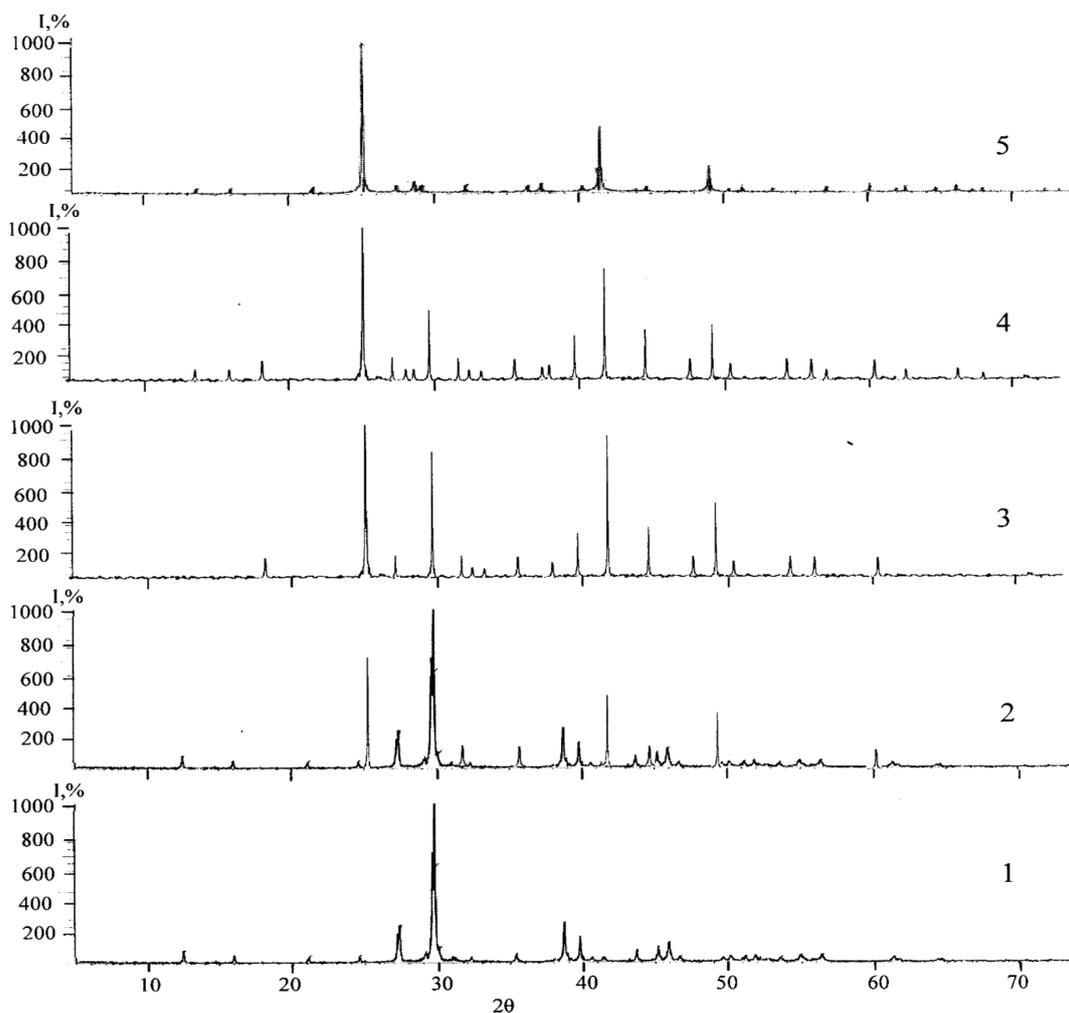


Рис. 1. Дифрактограммы сплавов системы $As_2Te_3-In_2Te_3$: 1 – As_2Te_3 , 2 – 30, 3 – 50 ($InAsTe_3$), 4 – 70, 5 – 100 мол. % In_2Te_3

ДТА сплавов системы показал, что на термограммах сплавов системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ обнаружены два или три термических эффекта.

МСА сплавов системы изучали после равновесного состояния. Для выявления границ фаз использовали травитель: состав 10 мл $HNO_3 + 5$ мл $H_2O_2=1:1$. В результате изучения микроструктуры сплавов системы установлено, что кроме сплавов из области концентраций 0–3 мол. % и 95–100 мол. % In_2Te_3 и 50 мол. % In_2Te_3 все сплавы двухфазные.

На основе исходных компонентов обнаружены ограниченные области твердых растворов, которые на основе As_2Te_3 составляют 3 мол. % In_2Te_3 , а на основе In_2Te_3 – 5 моль. % As_2Te_3 .

Для уточнения границы области твердых растворов на основе In_2Te_3 синтезировали сплавы, содержащие 3, 5, 7 и 10 мол. %

In_2Te_3 . Указанные сплавы отжигали в течение 520 ч, при температурах 100, 200 и 300 °С и закаляли в ледяную воду.

В результате микроструктурного анализа выявлено, что растворимость на основе In_2Te_3 при комнатной температуре доходит до 5 мол. % As_2Te_3 , а растворимость на основе In_2Te_3 при эвтектической температуре простирается до 10 мол. % As_2Te_3 .

Результаты измерения микротвердости и плотности приведены в таблице. Как видно из таблицы, для γ -фазы микротвердость составляет 650–710 МПа, а для соединения $InAsTe_3$ микротвердость составляет 730–770 МПа. Для α -фазы твердые растворы на основе In_2Te_3 соответствуют 1660–1710 МПа. Для подтверждения результатов ДТА, МСА проводили РФА. РФА сплавов подтверждает представленный вид диаграммы состояния.

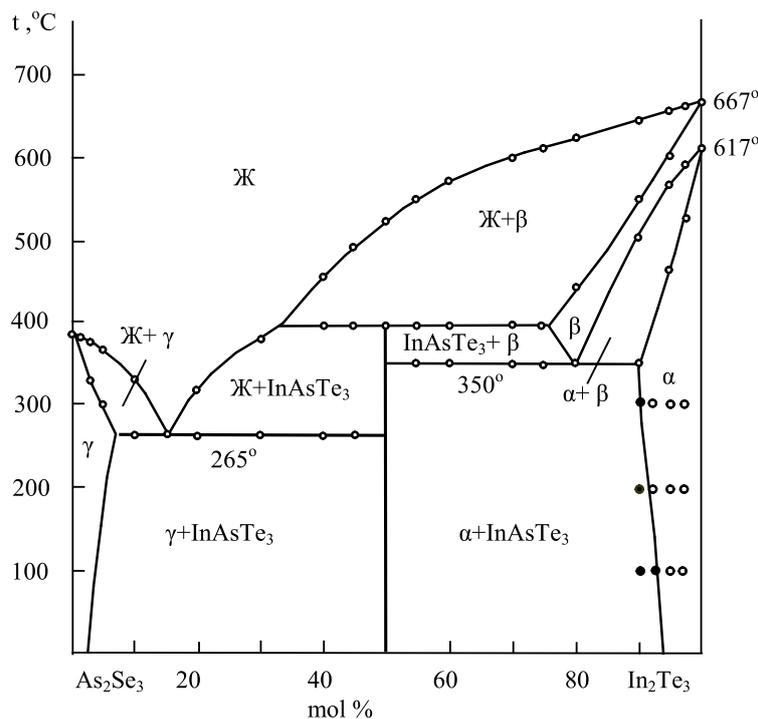


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы $As_2Te_3-In_2Te_3$

Для подтверждения существования соединения $InAsTe_3$ проводили рентгенофазовый анализ сплавов содержащих 30, 50 и 70 мол. % In_2Te_3 . Установлено, что дифракционные максимумы и межплоскостные расстояния, обнаруженные на дифрактограммах 50 мол. % In_2Te_3 , отличаются от дифракционных максимумов исходных соединений (рис. 1). На дифрактограммах сплавов, содержащих 30 и 70 мол. % In_2Te_3 , присутствуют линии исходных соединений и новой фазы $InAsTe_3$.

Полученные результаты подтверждают, что кроме сплава 50 мол. % In_2Te_3 , остальные сплавы двухфазные.

На основании физико-химического анализа построили диаграмму состояния системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ (рис. 2). Диаграмма состояния системы характеризуется наличием одного химического соединения $InAsTe_3$. Соединение $InAsTe_3$ образуется по перитектической реакции при $395^\circ C$, $Ж + In_2Te_3 \leftrightarrow InAsTe_3$.

Ликвидус системы $As_2Te_3-In_2Te_3$ ограничивается кривыми моновариантных равновесий γ -фазы, $InAsTe_3$ и α -фазы. γ -фазы и $InAsTe_3$ которые между собой образуются эвтектику, состав которой отвечает 15 мол. % In_2Te_3 и температура $265^\circ C$. В области концентраций 3–50 мол. % In_2Te_3 ниже линии солидуса кристаллизуются двухфазные сплавы $\gamma + InAsTe_3$, а в области 50–95 мол. % In_2Te_3 – $\alpha + InAsTe_3$. В ин-

тервале концентраций 0–3 мол. % In_2Te_3 представляет собой однофазные сплавы, а в пределах 3–95 мол. % In_2Te_3 ниже линии солидуса сплавы представляют собой двух фаз ($\gamma + InAsTe_3$) и ($\alpha + InAsTe_3$).

Заключение

С целью выяснения химического взаимодействия между $As_2Te_3-In_2Te_3$ в широком интервале концентраций исследована система $As_2Te_3-In_2Te_3$.

Установлено, что система $As_2Te_3-In_2Te_3$ является квазибинарной эвтектического типа. В системе при соотношении компонентов 1:1 по перитектической реакции $Ж + In_2Te_3 \leftrightarrow InAsTe_3$ при $395^\circ C$ образуется одно новое химическое соединение состава $InAsTe_3$.

Результаты МСА показали наличие ограниченных областей твердых растворов на основе исходных компонентов, которые на основе As_2Te_3 составляют 3 мол. % In_2Te_3 , а на основе In_2Te_3 – 5 моль. % As_2Te_3 .

Выявлено, что в интервале концентраций 0–15 моль. % In_2Te_3 из жидкости кристаллизуются γ -фазы, т.е. твердые растворы на основе As_2Te_3 . γ -фаза и $InAsTe_3$ между собой образуют эвтектику с координатами 15 мол. % In_2Te_3 и $265^\circ C$. В системе $As_2Te_3-In_2Te_3$ ниже линии солидуса кристаллизуются двухфазные сплавы ($\gamma + InAsTe_3$) и ($\alpha + InAsTe_3$).

Список литературы

1. Kavetskyya T., Borcs B.J., Sangwal K. Study of indentation microhardness of bismuth-doped As_2Se_3 glasses. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials-Irapid communication*. 2011. Vol. 5. No. 7. July. P. 755–760.
2. Kassem M., Le Coqa D., Fourmentina M., Hindlea F., Bokovaa M., Cuisseta A., Masselina P., Bychkova E. Synthesis and properties of new CdSe-AgI- As_2Se_3 chalcogenide glasses. *Materials Research Bulletin*, 2011. Vol. 46. Issue 2, February P. 210–215.
3. Bhawana Dabas, Sinha R.K. Dispersion Properties of Chalcogenide As_2Se_3 Glass Photonic Crystal Fiber. ICOP 2009-International Conference on Optics and Photonics Chandigarh, India, 30 Oct.-1 Nov.2009. P. 386–388.
4. Катеринчук В.М., Ковалюк З.Д. Морфология поверхности и электрическое сопротивление пленки окисла на InSe // Неорганические материалы. 2011. Т. 47. № 7. С. 449–453.
5. Петрусевич В.А., Сергеева В.М. Оптические и фотоэлектрические свойства In_2Te_3 // ФТТ. 1960. № 2. С. 2858–2862.
6. Babanly M., Muradova G., Ilyasly T., Babanly D.M. Solid-phase equilibria and thermodynamic properties of the $Tl_2Se-As_2Se_3-Se$ system. *J. Inorg. Chem.* 2012. v. 57. P. 270–273.
7. Магаммедрагимова Р.С., Алиев И.И., Алиев О.М., Асадов М.М. Экспериментальное исследование и термодинамическая оценка $As_2S_3-As_2Se_3-InSe$. // Актуальные проблемы Физики Твёрдого тела: сборник докладов VIII Международной научной конференции (24–28 сентября 2018 г.). В 3-х т. Минск, 2018. Т. 1. С. 79.
8. Худиева А.Г., Ильяслы Т.М., Аббасова Р.Ф., Исмаилов З.И., Алиев И.И. Исследование тройной системы по различным разрезам // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4–5. С. 902–904.
9. Хворестанко А.С. Халькогениды мышьяка. Обзор из серии «Физические и химические свойства твёрдого тела». М., 1972. 92 с.
10. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник: В 3т: Т. 3 / Под. Ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 2001. Т. 3. 872 с.

УДК 535.37

СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ И ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ СОЕДИНЕНИЙ ФЕНИЛБЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА

Некрасова Л.П.

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками
здоровью» Минздрава России, Москва, e-mail: laranekrasova@gmail.com

Изучены электронные спектры поглощения и флуоресценции производных фенилбензимидазола. Исследованные соединения относятся к V типу систематики молекул по относительному положению уровней $\pi\pi^*$ и $n\pi^*$ природы. Спектры поглощения и флуоресценции производных фенилбензимидазола, не содержащих заместителей, имеют грубую колебательную структуру. Введение аминогрупп в бензольное кольцо или бензимидазольный цикл приводит к исчезновению колебательной структуры спектров и их bathochromному смещению. Стоксово смещение флуоресценции при аминозамещении в бензольном кольце возрастает по сравнению с незамещенным фенилбензимидазолом, что указывает на усиление переноса заряда с бензольного кольца на бензимидазольный цикл. Введение аминогруппы в бензимидазольный цикл значительно усиливает перенос заряда в молекулах. Увеличение π -системы молекулы приводит к bathochromному и hyperchromному эффектам. Малая величина сдвига полос поглощения и флуоресценции ди-(4'-амино-2-фенилбензимидазол-5)-метана по сравнению с 4'-амино-2-фенилбензимидазолом при существенном увеличении π -системы молекулы обусловлена разобщающим эффектом метиленового мостика на систему сопряженных связей. Небольшая величина стоксова сдвига в молекуле 1,3-диамино(4,6-бензимидазол-2)-бензола свидетельствует об образовании внутримолекулярных водородных связей между третичным атомом азота имидазольного цикла и атомами водорода аминогрупп, вследствие чего образование межмолекулярных водородных связей затруднено.

Ключевые слова: производные фенилбензимидазола, спектры поглощения, спектры флуоресценции, стоксов сдвиг флуоресценции, аминогруппы

ABSORPTION AND FLUORESCENCE SPECTRA OF PHENYLBENZIMIDAZOLE SERIES COMPOUNDS

Nekrasova L.P.

Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, e-mail: laranekrasova@gmail.com

The electronic absorption and fluorescence spectra of phenylbenzimidazole derivatives were studied. The studied compounds belong to the V type of systematics of molecules according to the relative position of the levels of $n\pi^*$ and $\pi\pi^*$ nature. Absorption and fluorescence spectra of phenylbenzimidazole derivatives that do not contain substituents have a coarse vibrational structure. The introduction of amino groups into the benzene ring or the benzimidazole cycle leads to the disappearance of the vibrational structure of the spectra and their bathochromic shift. The Stokes fluorescence shift with amino substitutions in the benzene ring increases as compared with the unsubstituted phenylbenzimidazole, which indicates an increase in charge transfer from the benzene ring to the benzimidazole cycle. The introduction of the amino group in the benzimidazole cycle significantly enhances the charge transfer in molecules. An increase in the π -system of the molecule leads to the bathochromic and hyperchromic effects. The small shift in the absorption and fluorescence bands of di-(4'-amino-2-phenylbenzimidazolyl-5)-methane compared to 4'-amino-2-phenylbenzimidazole with a significant increase in the π -system of the molecule is due to the uncoupling effect of the methylene bridge on the system of conjugate bonds. A small amount of Stokes shift in the 1,3-diamino (4,6-benzimidazolyl-2)-benzene molecule indicates the formation of intramolecular hydrogen bonds between the tertiary nitrogen atom of the imidazole ring and the hydrogen atoms of amino groups, as a result of which the formation of intermolecular hydrogen bonds is difficult.

Keywords: phenylbenzimidazole derivatives, absorption spectra, fluorescence spectra, Stokes fluorescence shift, amino groups

Соединения, содержащие ядро бензимидазола, проявляют биологическую [1, 2], антивирусную [3], антимикробную активность [4]. В справочнике М.Д. Машковского более 80 лекарственных средств являются производными бензимидазола [5]. Красители на основе фенилбензимидазола – перспективные флуоресцентные зонды для диагностики и ДНК-лиганды [6]. На основе комплексов металлов с фенилбензимидазолом изготавливают органические светоизлучающие диоды [7]. Датчики на основе фенилбензимидазола служат для селективного определения сульфид-ионов в воде [8]. Диамины бензимидазольного ряда исполь-

зуются в качестве мономеров для производства полимеров с уникальными свойствами [9]. В связи с вышесказанным сведения о спектрально-люминесцентных свойствах этих соединений чрезвычайно важны для их успешного использования в прикладных разработках и фундаментальных исследованиях гетероциклических соединений.

Работа посвящена изучению спектров поглощения и флуоресценции фенилбензимидазола и его производных.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были 2-фенилбензимидазол (ФБИ), 1,2-дифенилбензимидазол (ДФБИ),

4'-амино-2-фенилбензимидазол (АФБИ), 6-амино-2-фенилбензимидазол (ФАБИ), 6,4'-диамино-2-фенилбензимидазол (ДАФБИ), 1,4-ди-(бензимидазоллил-2)-бензол (ДБИБ), 1,4-ди-(6-диаминобензимидазоллил-2) бензол (ДАБИБ), 5,5'-бис(4-амино-2-фенилбензимидазоллил-3) (бис-АФБИ), ди-(4'-амино-2-фенилбензимидазоллил-5) метан (ДАФБИМ), 1,3-диамино(4,6-бензимидазоллил-2)-бензол (ДАДБИБ). Использовали ФБИ (Aldrich Chemical, 99%), другие производные фенилбензимидазола были синтезированы и очищены в ИНЭОС. Все растворители имели квалификацию «для спектроскопии». Чистоту объектов исследования и растворителей проверяли по спектрам поглощения и на присутствие люминесцирующих примесей. Концентрация исследуемых растворов варьировалась от $5 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-7}$ моль/дм³. Спектры поглощения записывали на спектрофотометре Perkin Elmer 554 и UV-1800 Shimadzu. Спектры флуоресценции и возбуждения флуоресценции регистрировали на спектрофлуориметре MPF 44 Perkin Elmer и CM2203 Solar с термостатом в кварцевых кюветках с толщиной поглощающего слоя 1 см.

Результаты исследования и их обсуждение

Фенилбензимидазол и его аминокпроизводные в растворителях различной природы и полярности обладают интенсивными полосами поглощения и яркой видимой флуоресценцией. Нижним T-состоянием аминокпроизводных ФБИ является состояние $\pi\pi^*$ - типа с энергией около 21000 см^{-1} . Нижнее S-состояние имеет также $\pi\pi^*$ природу. Во всех исследованных растворителях эти соединения относятся к V типу систематики молекул по относительному положению уровней $\pi\pi^*$ и $\pi\pi^*$ природы [10]. Аминокпроизводные бензимидазола чувствительны к природе растворителя и кислотности среды [11–13]. Незамещенный ФБИ, а также

ДБИБ обладают интенсивными полосами поглощения с грубой колебательной природой в апротонных растворителях, которая сохраняется также и в этаноле (рис. 1).

В водных растворах колебательная структура полос поглощения и флуоресценции нарушается. Полосы $S_1 - S_0$ переходов ФБИ и ДБИБ имеют более выраженную колебательную структуру, чем полосы $S_0 - S_1$ переходов, что может быть объяснено планаризацией молекул при фотовозбуждении. Согласно [14] частота колебаний ФБИ в S_0 -состоянии 1391 см^{-1} , а в S_1 -состоянии она составляет 922 см^{-1} . Первое возбужденное синглетное состояние формируется из первого локального возбужденного состояния бензимидазольного ядра и конфигурации переноса заряда с фенильного кольца на бензимидазольный цикл, причем доля последнего составляет 25%. Протонирование бензимидазольного цикла усиливает его акцепторные свойства, что должно привести к усилению переноса заряда и изменению природы $S_1 - S_0$ перехода. Если в молекуле ФБИ это $\pi\pi^*$ - переход, то в катионе – переход с переносом заряда [14]. Присоединение протона к имидазольному циклу молекулы ФБИ не оказывает существенного влияния на полосу поглощения. Наблюдается лишь небольшое ее коротковолновое смещение. В водных растворах максимум полосы поглощения ФБИ испытывает гипсохромный сдвиг от 302 до 296 нм, в то время как максимум полосы флуоресценции смещается батохромно от 350 до 355 нм [13]. Спектральные эффекты протонирования аминокпроизводных фенилбензимидазола описаны в [13, 15].

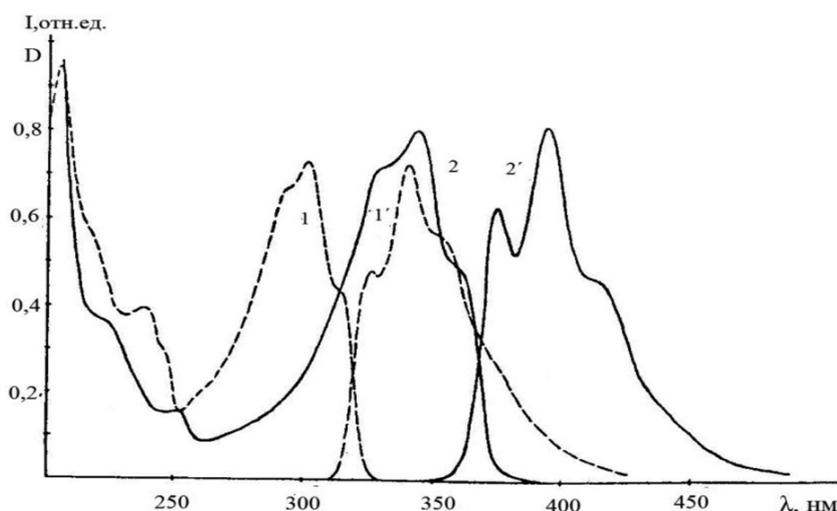
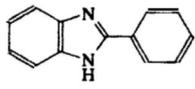
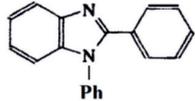
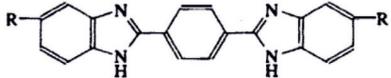
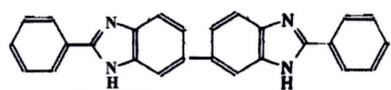
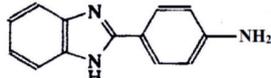
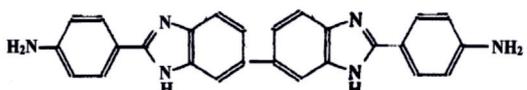
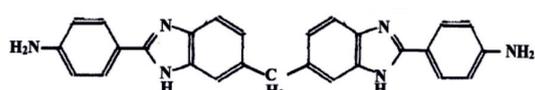
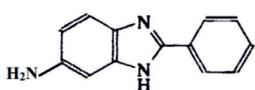
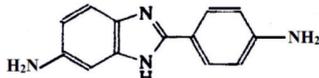
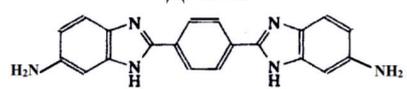
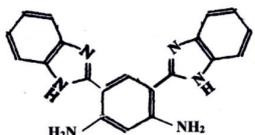


Рис. 1. Спектры поглощения (1, 2) и флуоресценции (1', 2') этанольных растворов ФБИ (1, 1') и ДБИБ (2, 2'). $C_{\text{ФБИ}} = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ M}$; $C_{\text{ДБИБ}} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ M}$

Максимумы спектров поглощения и флуоресценции этанольных растворов соединений бензимидазольного ряда

Соединение	$\lambda_{\text{пол.}}, \text{нм}$	$\varepsilon \cdot 10^{-3}, \text{л моль}^{-1} \text{см}^{-1}$	$\lambda_{\text{фл.}}, \text{нм}$	$\Delta\nu_{\text{ст.}}, \text{см}^{-1}$
ФБИ 	302* 242	25,3 13,6	342*	3860
ДФБИ 	292	22,9	347	5430
ДБИБ 	342* 251	56,2 9,4	394*	3860
ДФБИМ 	308* 242	49,5 34,9	350*	3900
АФБИ 	316 264	26,0 6,0	375	4980
ДАФБИМ 	322 266	67,0 16,6	378	4600
Бис-АФБИ 	342 270 220	5,3 20,0 55,0	395	3920
ФАБИ 	329 260	18,3 9,6	442	7780
ДАФБИ 	336 279 216	31,0 13,3 31,8	423	6120
ДАБИБ 	374 272 236	45,0 9,0 21,8	520	7510
ДАДБИБ 	362 326 295 262	29,3 31,4 50,3 31,8	420* 405	2930

Примечание. * – полосы с колебательной структурой.

Спектры поглощения и флуоресценции ДБИБ по форме повторяют спектры ФБИ, однако сдвинуты батохромно на 40 нм вследствие увеличения π -системы молекулы. Батохромный сдвиг спектров ДФБИМ относительно невелик и составляет 6 нм. Увеличение вероятности электронных переходов в молекулах ДБИБ и ДФБИМ приводит также к повышению коэффициента молярного погашения. Замена атома водорода на фенильный радикал в молекуле ДФБИ приводит к гипсохромному сдвигу полосы поглощения и утрате ее колебательной структуры.

Полосы поглощения и флуоресценции аминокпроизводных ФБИ смещены батохромно относительно полос незамещенного соединения. При пара-аминозамещении в фенильном фрагменте молекулы ФБИ батохромный сдвиг электронных спектров составляет порядка 1300 см^{-1} , в водных растворах и 1500 см^{-1} в этаноле. В случае введения аминокруппы в положение 6 бензимидазольного цикла – 2200 см^{-1} и 2700 см^{-1} соответственно. Наблюдаемые изменения обусловлены образованием межмолекулярных водородных связей с участием аминокрупп. Поскольку основность аминокруппы бензимидазольного цикла выше [13], то образование водородной связи происходит в первую очередь по этой группе. В результате донорные свойства аминокруппы бензимидазольного цикла в водных растворах выражены слабее, чем в этаноле. В случае введения двух аминокрупп в молекулу ФБИ

величина смещения несколько меньше суммы смещений, вызываемых каждой аминок группой в отдельности, и составляет в молекуле ДАФБИ $2800\text{--}3300\text{ см}^{-1}$.

Полосы поглощения и флуоресценции ДАФБИМ и бис-АФБИ повторяют по форме полосы поглощения и флуоресценции АФБИ (рис. 2), а полосы поглощения и флуоресценции ДАБИБ – полосы ФАБИ, но сдвинуты в более длинноволновую область. В случае ДАФБИМ величина смещения максимумов полос поглощения и флуоресценции по сравнению с АФБИ составляет 3–5 нм, а в случае бис-АФБИ – 28 нм. Полоса $S_0 - S_1$ перехода ДАБИБ расположена на 35 нм длинноволнее соответствующей полосы ФАБИ. Малая величина сдвига полос поглощения и флуоресценции ДАФБИМ по сравнению с АФБИ при существенном увеличении π -системы молекулы обусловлена разобщающим эффектом метиленового мостика на систему сопряженных связей [15].

Спектр поглощения ДАДБИБ имеет сложный характер. Он состоит из четырех хорошо разрешенных полос (рис. 3). Полоса длинноволнового перехода не имеет колебательной структуры и является полосой перехода с переносом заряда. Полосы с максимумами при 295 и 326 нм представляют собой расщепление длинноволновой полосы поглощения АФБИ. Максимумы полос поглощения и флуоресценции этанольных растворов производных ФБИ представлены в таблице.

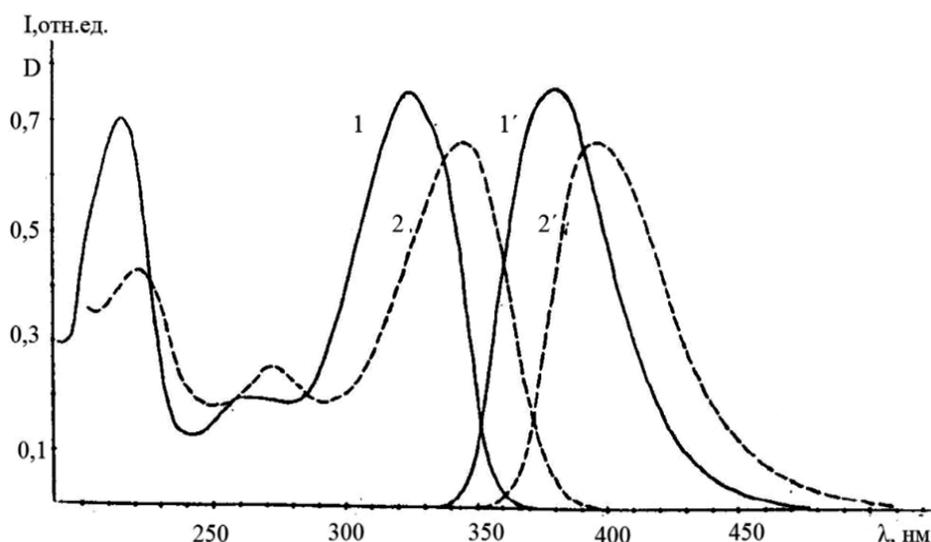


Рис. 2. Спектры поглощения (1, 2) и флуоресценции (1', 2') этанольных растворов ДАФБИМ (1, 1') и бис-АФБИ (2, 2'). $C_{\text{ФБИ}} = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{ М}$; $C_{\text{ДБИБ}} = 1,2 \cdot 10^{-5}\text{ М}$

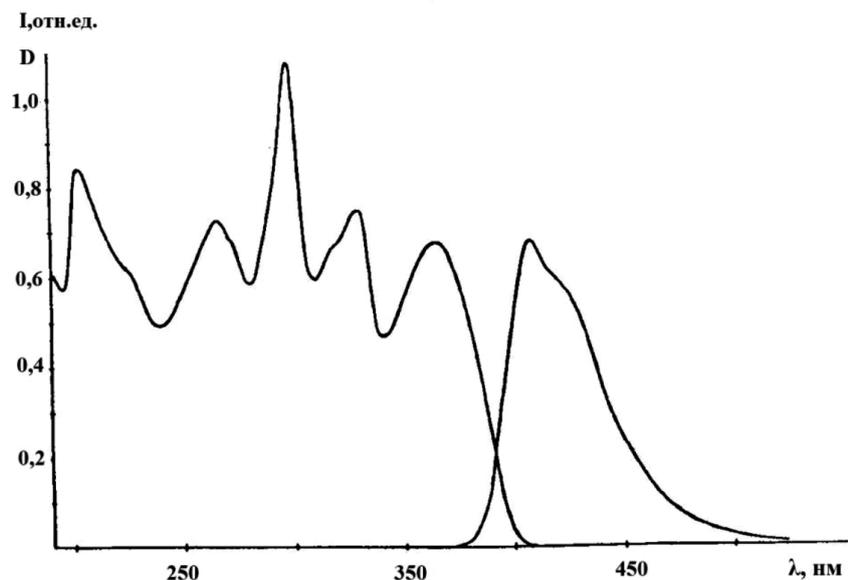


Рис. 3. Спектры поглощения и флуоресценции этанольного раствора ДАДБИ. $C = 2,2 \cdot 10^{-5} M$

Стоксово смещение флуоресценции при пара-аминозамещении в фенильном кольце возрастает по сравнению с незамещенным ФБИ, что указывает на усиление переноса заряда с фенильного кольца на бензимидазольный цикл. По данным квантовохимических расчетов [11], вклад состояния переноса заряда с фенильного кольца на имидазольный цикл в S_1 -состоянии молекулы АФБИ возрастает по сравнению с ФБИ с 25% до 60%. Величина стоксова смещения этанольных растворов АФБИ и ДАФБИМ составляет около 5000 см^{-1} , в то время как $\Delta\nu_{\text{ст}}$ бис-АФБИ на 1000 см^{-1} меньше, и практически не отличается от величины стоксова смещения флуоресценции ФБИ и его производных, не содержащих аминогрупп (таблица).

Введение аминогруппы в бензимидазольный цикл значительно усиливает перенос заряда в молекулах. Величина стоксова смещения молекул с аминогруппой в бензимидазольном цикле составляет $6000\text{--}8000 \text{ см}^{-1}$ [12]. При введении двух аминогрупп – в фенильное кольцо и бензимидазольный цикл стоксово смещение несколько меньше, чем в молекуле ФАБИ. Данный эффект может быть интерпретирован в предположении, что влияния аминогрупп в возбужденном состоянии на дипольный момент в молекуле ДАФБИ противоположны, при этом эффект аминогруппы в бензимидазольном цикле превалирует.

Небольшая величина стоксова сдвига в молекуле ДАДБИ свидетельствует об

образовании внутримолекулярных водородных связей между третичным атомом азота имидазольного цикла и атомами водорода аминогрупп, вследствие чего образование межмолекулярных водородных связей затруднено.

Выводы

Спектры поглощения и флуоресценции производных фенилбензимидазола, не содержащих аминогрупп, имеют грубую колебательную структуру. Введение аминогрупп в молекулу приводит к усилению переноса заряда в молекуле, батохромному сдвигу полос поглощения и флуоресценции и увеличению стоксова смещения флуоресценции. Образование межмолекулярных водородных связей между аминогруппами производных фенилбензимидазола и молекулами растворителя уменьшает стоксово смещение флуоресценции.

Список литературы

1. Islamoglu F., Erdogan N., Mentese E. Determination of biological activities and pK_a at drug active substance in some bisbenzimidazoles derivatives. *Heterocyclic Letters*. 2016. Vol. 6. No. 3. P. 361–369.
2. Мамедов В.А., Муртазина А.М. Реакции рециклизации, протекающие с образованием бензимидазолов // *Успехи химии*. 2011. Т. 80. № 5. С. 419–442.
3. Tonelli M., Simone M., Tasso B., Novelli F., Boirdo V., Sparatore F., Paglieetti G., Pricl S., Giliberti G., Blois S., Ibba C., Sanna G., Loddo R., La Colla P. Antiviral activity of benzimidazole derivatives. II A Antiviral activity of 2-phenylbenzimidazole derivatives. *Bioorg. Med. Chem.* 2010. Vol. 18. P. 2937–2953. DOI: 10.1016/j.bmc.2010.02.037.

4. Gopi A., Roopashree B., Devaraju K.S., Gayathri V. Syntheses, characterizations, and antimicrobial activities of binuclear ruthenium (III) complexes containing 2-substituted benzimidazole derivatives. *Journal of coordination Chem.* 2012. Vol. 65. No. 22. P. 4023–4040. DOI: 10.1080/00958972.2012.731050.
5. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Новая волна. Изд. 16, 2016. 1216 с.
6. Zheng S.F., Lu J., Li W., Qin Y.M., Yan D.P., Evans D.G., Duan X. The 2-phenylbenzimidazole-5-sulfonate/layered double hydroxide co-intercalation composite and its luminescence response to nucleotides. *Journal of Materials Chemistry C.* 2014. Vol. 2. No. 26. P. 5161–5167. DOI: 10.1039/c4tc00755g.
7. Li J., Liang F., Zhao Y., Liu XY., Fan J., Liao L.S. Highly phosphorescent cyclometalated platinum (II) complexes based on 2-phenylbenzimidazole-containing ligands. *Journal of Materials Chemistry C.* 2017. Vol. 5. No. 25. P. 6202–6209. DOI: 10.1039/c7tc01369h.
8. Tang L.J., Cai M.J., Zhou P., Zhao J., Huang Z.L., Zhong K.L., Hou S.H., Bian Y.J. Relay recognition by modulating ESIPT: A phenylbenzimidazole derived sensor for highly selective ratiometric fluorescent recognition of Zn^{2+} and S^{2-} in water. *Journal of luminescence.* 2014. Vol. 147. P. 179–183. DOI: 10.1016/j.jlumin.2013.11.024.
9. Антипов Ю.В., Кульков А.А., Пименов Н.В. Полимерные композиционные материалы. Технологии и применение // *Высокомолекулярные соединения. Серия С.* 2016. Т. 58. № 1. С. 29–41.
10. Нурмухаметов Р.Н. Поглощение и люминесценция ароматических соединений. М.: Химия, 1971. 216 с.
11. Mishra A.K., Dogra S.K. Effect of Solvents and pH on the Spectral Behavior of 2-(p-aminophenyl)benzimidazole. *Bull. Chem. Soc. Jap.* 1985. Vol. 58. No. 12. P. 3587–3592.
12. Нурмухаметов Р.Н., Семенова Л.И., Некрасова Л.П., Барашков Н.Н. Спектры поглощения и флуоресценции молекулярной и протонированных форм 6,4'-диамино-2-фенилбензимидазола // *Журн. физ. химии.* 1988. Т. 62. № 1. С. 82–87.
13. Некрасова Л.П., Нурмухаметов Р.Н., Шапиро И.О. Константы ионизации и электронные спектры кислотно-основных форм аминопроизводных фенилбензимидазола // *Журн. физ. химии.* 1988. Т. 62. № 1. С. 88–93.
14. Mishra A.K., Dogra S.K. Effect of solvents and pH on the absorption and fluorescence spectra of 2-phenylbenzimidazole. *Spectrochim. Acta.* 1983. Vol. 39A. No. 7. P. 609–611.
15. Некрасова Л.П. Кислотно-основные свойства и спектральные эффекты протонирования диаминов бисбензимидазольного ряда // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2017. № 8–2. С. 231–236.

УДК 611.12-053:377

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА И ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ У УЧАЩИХСЯ КОЛЛЕДЖА РАЗЛИЧНЫХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ

Кононец И.Е., Калыкеева А.А.

*Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева,
Бишкек, e-mail: kalykeevaafina@mail.ru*

Среди современных методологических подходов к оценке состояния сердечно-сосудистой системы и организма в целом существенное место принадлежит анализу variability сердечного ритма. В работе была применена кардиоинтервалография (КИГ), которая используется для регистрации и анализа ритма сердца. Вегетативная реактивность обследуемых выявлялась с использованием окулокардиального рефлекса Данини – Ашнера. Данная проба была предложена одновременно Dagnini и B. Aschner в 1908 г. Согласно методике А.М. Вейна (2003), регистрация кардиоинтервалограммы с феноменом Ашнера осуществлялась в 2 последовательных этапа. На первом отрезке обследования регистрировались фоновые показатели ритмограммы учащихся в течение 5 минут. На втором этапе глазо-сердечный рефлекс вызывался надавливанием подушечками пальцев на оба глазных яблока 30 с, запись КИГ проводилась в течение 5 мин. В данной работе представлены результаты изучения показателей вегетативной реактивности учащихся колледжа гуманитарных и технических специальностей. Всего обследовано 160 учащихся, из них 50% составляют юноши и 50% девушки. Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует о повышении реактивности симпатического отдела вегетативной нервной системы у девушек технического и юношей гуманитарного направлений обучения.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, кардиоинтервалограмма, подростки, вегетативный тонус, вегетативная реактивность, нормотония, ваготония, симпатикотония

HEART RATE VARIATION AND VEGETATIVE REGULATION IN COLLEGE STUDENTS OF VARIOUS SPECIALIZATIONS

Kononets I.E., Kalykeeva A.A.

Kyrgyz State Medical Academy I.K. Akhunbaeva, Bishkek, e-mail: kalykeevaafina@mail.ru

This paper presents the results of the research of vegetative reactivity of college students in humanitarian and technical specializations. Among the modern methodological approaches to the assessment of the cardio – vascular system and the organism as a whole, an important place belongs to the analysis of heart rate variability. In this paper cardiointervalography (CIG) – apparatus – programming set was used for the analysis of cardiac rhythm. Vegetative reactivity of the surveyed is determined by the using of eye-cardiac reflex Danini – Aschner. This test was proposed simultaneously by Dagnini and B. Aschner in 1908. In the first segment of the survey indicators of students' rhythmograms were recorded in 5 minutes. At the second stage the eye – cardiac reflex was caused by the pads pressure of fingers on both eyeballs for 30 seconds, CIG was recorded for 5 minutes. Totally 160 students were examined, among them, 50% are boys and 50% girls. Comparative analysis of the data indicates about increasing reactivity of the sympathetic division of the girls' autonomic nervous system in technical and boys in humanitarian areas.

Keywords: heart rate variability, cardiointervalogram, teens, autonomic tone, autonomic reactivity, normotonia, vagotonia, sympathicotonia

Здоровье подрастающего поколения – основная общественная ценность, которая определяет перспективу любой страны. Для сохранения здоровья нации важное значение имеет стабильное развитие организма в кризисные периоды онтогенеза, во время которых морфофункциональное развитие происходит активнее, чем в стабильные возрастные периоды [1–3].

На сегодняшний день в связи с глобализацией образовательной сферы увеличивается количество профессиональных лицеев, техникумов и колледжей, в которых предъявляются новые комплексы требований к учащимся. Нужно отметить, что в этих условиях организм подростков претерпевает значительное напряжение всех функциональных систем, что связано с повышенной

учебной нагрузкой и адаптацией к новой социальной среде. В многих физиолого-гигиенических обследованиях говорится о снижении состояния здоровья подростков в процессе приспособления к учебной деятельности [1, 4, 5].

Сердце – чувствительный индикатор всех происходящих в организме изменений, на деятельность которого влияют симпатический и парасимпатический отделы вегетативной нервной системы (ВНС).

Функциональное состояние отделов ВНС организма – это результат системы регуляции кровообращения, адаптирующего свои показатели для достижения благоприятного для организма приспособительного процесса в изменяющихся условиях окружающей природной среды [6, 7].

В настоящее время одной из современных методик, применяемых для оценки взаимосвязи сердца и нервной системы, является оценка значений вариабельности сердечного ритма (ВСР). Данная методика основывается на проведении записи кардиоинтервалограммы (КИГ), распознавании и измерений временных R – R интервалов [8].

По продолжительности записи КИГ различаются 2 вида:

1) короткие записи (регистрация КИГ проводится от нескольких минут до нескольких часов);

2) длинные записи (регистрация КИГ от 24 часов до 48 часов).

Целью данной методики является установление и количественное выявление воздействия на возбудимость сердца каждого из звеньев организма, как центрального, так и вегетативного, гуморального, рефлекторного. Это даёт возможность определить функциональное состояние организма и его приспособительных резервов, также выявить степень заболевания и на основе полученных результатов выработать рекомендации по подбору оптимальной терапии с учётом текущего состояния всех звеньев организма с последующим мониторингом за проводимым лечением, установление прогноза при ряде заболеваний.

Использование ВСР с разными нагрузочными пробами даёт возможность определить состояние организма. Под воздействием внешних и внутренних раздражений появляются ответные реакции организма, которые называются вегетативной реактивностью организма. При формировании ответных реакций организма особо важную роль играет сила воздействия и его длительность [9, 10]. Анализ значений ВСР является методом оценки состояния адаптационных возможностей организма, функциональных резервов, механизмов вегетативной регуляции и его вегетативной реактивности. Полученные значения показателей ВСР анализируются различными математическими методами.

Целью настоящей работы явилось изучение параметров вариабельности ритма сердца и вегетативной реактивности учащихся колледжа гуманитарных и технических направлений обучения.

Материалы и методы исследования

Под наблюдением находились 160 учащихся в возрасте 15–16 лет, обучающихся в колледже Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева.

С целью изучения влияния рефлекса Данини – Ашнера на показатели ВСР у респондентов проводилась с помощью программно-технического комплекса КИГ. Окулокардиальный рефлекс был предложен

одновременно Dagnini и В. Aschner в 1908 г. Данная проба обусловлена связями тройничного и блуждающего нервов отделов ВНС [11].

Феномен Ашнера выполнялся следующим образом. Концами больших пальцев производится с достаточной силой давление на оба глазные яблока в течение 30 секунд.

Регистрация КИГ выполнялась в 2 этапа:

1) фоновые показатели КИГ в положении сидя в течение 5 мин;

2) надавливание на глазные яблоки 30 секунд с регистрацией КИГ в течение 5 мин. При статистической обработке оценивались следующие показатели кардиоинтервалограммы: индекс вагосимпатического взаимодействия (LF/HF), частота сердечных сокращений (ЧСС), амплитуда моды (АМо) и индекс напряжения регуляторных систем (ИН).

Для статистической обработки результатов использовали пакет прикладных программ SPSS statistics 21, с использованием распределений параметров на нормальность критериев Колмогорова – Смирнова. При непараметрическом распределении использовали критерий Манн – Уитни и Критерий χ^2 (Пирсона), а при параметрическом распределении использован Test Independent. Различия между обследуемыми группами считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании полученных значений показателей ВСР респонденты были разделены на следующие группы: нормотоники, ваготоники и симпатикотоники [11].

Процентное соотношение типов вегетативного тонуса учащихся юношей гуманитарных специализаций было следующим: у 38% нормотонический и у 62% симпатикотонический тип вегетативной нервной системы.

У девушек гуманитариев в 48% случаев была выявлена нормотония, ваготония – у 20%, симпатикотония – 32%. После рефлекса Ашнера нормотония обнаружена у 65% юношей, ваготония у 23%, симпатикотония у 12%. У девушек после надавливания на глазные яблоки нормотонический тип вегетативного тонуса установлен у 58%, ваготонический у 32%, симпатикотонический у 10%.

При сравнении значений КИГ юношей и девушек гуманитариев, полученных после проведения глазо-сердечного рефлекса, выявлено, что у юношей-нормотоников соотношение вагосимпатического баланса на 8%, ЧСС на 1%, АМо на 17% и ИН на 7% выше значений у девушек. У юношей – ваготоников LF/HF на 3%, ЧСС на 4%, АМо на 7% и ИН на 9% превышают показатели у девушек. У юношей-симпатикотоников коэффициент вагосимпатического баланса на 17%, ИН на 7% выше, АМо на 4% ниже значений у девушек-симпатикотоников (рис. 1, 2).

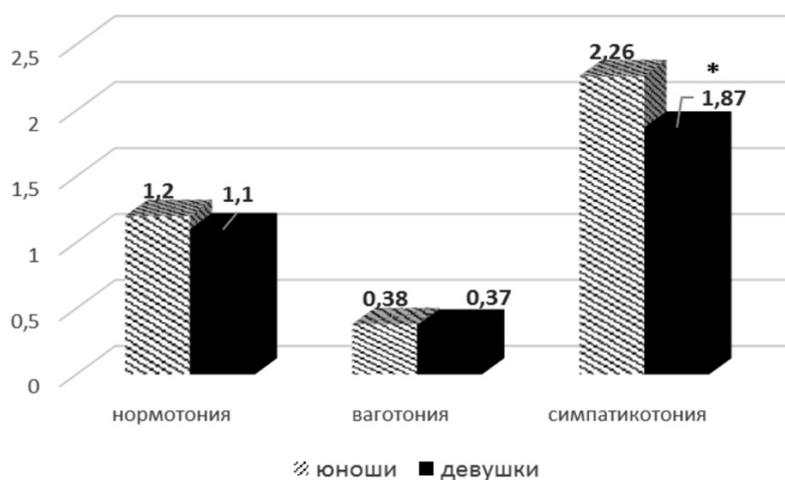


Рис. 1. Значения показателя LF/HF учащихся гуманитарного направления обучения при проведении рефлекса Данини – Ашнера

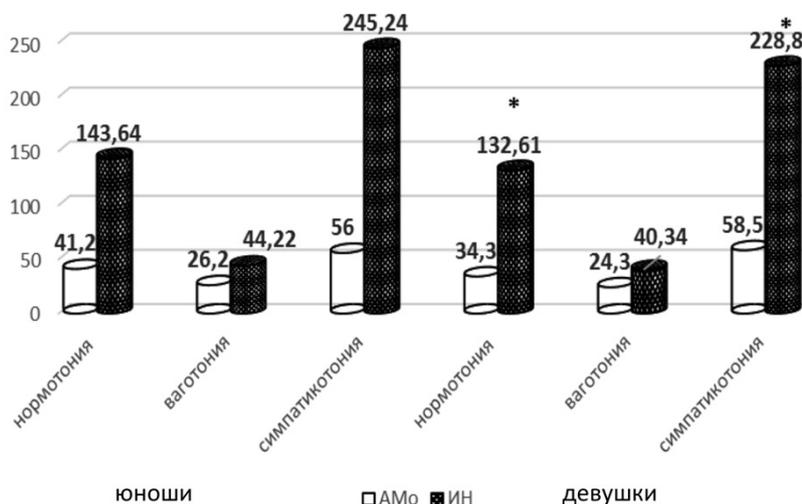


Рис. 2. Значения показателей АМо и ИН учащихся гуманитарного направления обучения при проведении рефлекса Данини – Ашнера.

Примечание: * – различия достоверны ($P < 0,05$) между показателями студентов и студенток

У студентов технического направления обучения установлено: нормотония у 43%, ваготония у 40% и симпатикотония только у 17%. При применении пробы было обнаружено у 45% – нормотоническая и 55% – ваготоническая реакция. 50% обследованных девушек имели исходный нормотонический тип вегетативной регуляции, 38% – ваготонический и 12% – симпатикотонический. Глазо-сердечный рефлекс у 58% девушек выявил нормотоническую реакцию и 42% – ваготоническую.

На рис. 3 и 4 представлена динамика параметров КИГ учащихся технического направления обучения. При сопоставлении показателей юношей и девушек, получен-

ных при проведении пробы Данини – Ашнера, установлено, что у девушек-нормотоников ЧСС на 1% и ИН на 9% выше, а отношение вагосимпатического баланса на 6% и АМо на 4% ниже по сравнению с юношами.

У девушек-ваготоников ЧСС на 5%, АМо на 4% и ИН на 6% превышали значения у юношей.

М.Э. Кашкенчиев (2015) обследовал 170 подростков-горцев обоего пола в возрасте 12–16 лет, учащихся в условиях общеобразовательной школы. Для выявления вегетативной реактивности подростков была применена рефлекс Ашнера. В результате проведенных исследований было установ-

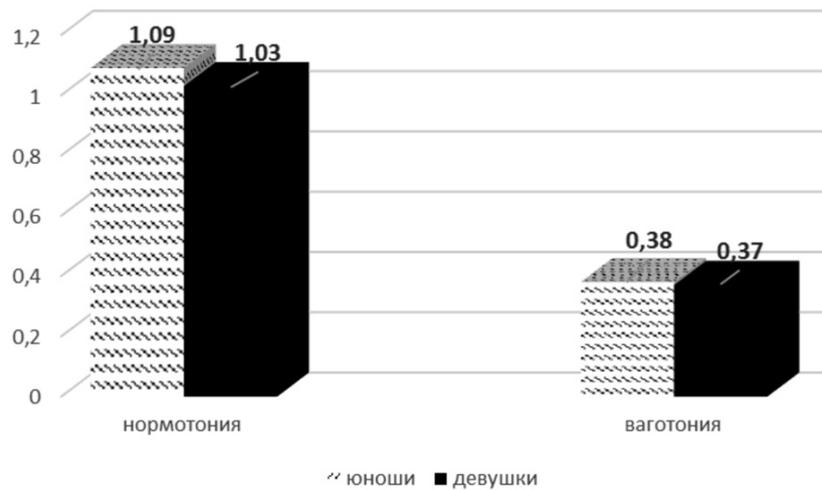


Рис. 3. Значения показателя LF/HF учащихся технического направления обучения при проведении рефлекса Данини – Ашнера



Рис. 4. Динамика показателей КИГ учащихся технического направления обучения при проведении рефлекса Данини – Ашнера

лено, что у девочек доминирует симпатическая нервная система, тогда как у обследуемых противоположного пола тенденция доминирования наблюдается в сторону к парасимпатикотонии [12].

Л.М. Статуевой и соавт. (2007) были обследованы школьники, лицеисты и студенты вуза. Анализ данных ВСП установил изменчивость сердечных сокращений в зависимости от возрастных особенностей, специфики учебной нагрузки и специфики обучения учащихся. На основании проведенных исследований было обнаружено повышенное доминирование симпатической нервной системы у лицеистов. Данное явление

объясняется авторами повышенной нагрузкой учебной деятельности и усложненной программой по сравнению с общеобразовательной школой [1].

Заключение

Полученные нами результаты обследования свидетельствуют о превалировании реактивности симпатического отдела ВНС у юношей гуманитарного и девушек технического направлений обучения. Это может быть связано с индивидуальными особенностями организма обследованных групп и значительными учебными нагрузками учащихся колледжа.

Список литературы

1. Статуева Л.М., Сабурцев С.А., Крылов В.Н. Динамика variability сердечного ритма студентов и школьников Арзамаса в процессе учебной нагрузки // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 4. С. 82–87.
2. Быков Е.В. Адаптация к школьным нагрузкам учащихся образовательных учреждений нового типа // Физиология человека. 2001. Т. 27. № 5. С. 76–81.
3. Безруких М.М. Особенности регуляции сердечного ритма у школьников в 16 лет под влиянием учебных занятий // Физиология человека. 1989. № 15 (2). С. 85–88.
4. Лукьянова И.В. Variability сердечного ритма у учащихся старших классов: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Нижний Новгород, 2008. 25 с.
5. Деваев Н.П. Влияние психоэмоционального стресса на регуляцию сердечного ритма и биоэлектрическую активность головного мозга у студенток // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 2 (2). С. 622–626.
6. Резниченко А.А., Лучинин А.В. Особенности обработки кардиоинтервалограмм в медико-биологических исследованиях // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 9 (110). С. 230–232.
7. Mueller H., R. Psych. Private practice in clinical and health psychology. Heart rate variability biofeedback. URL: http://www.armuellerhealthpsychology.com/heart_rate_variability.html (дата обращения: 12.11.2018).
8. Агаджанян Н.А. Эколого-физиологические и этнические особенности адаптации человека к различным условиям среды обитания: монография, 2-е доп. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. 239 с.
9. Жалненкова Л.П. Состояние, проблемы и перспективы развития анализа кардиоинтервалограммы // Информатика и прикладная математика: межвузовский сборник научных трудов. 2011. № 17. С. 52–60.
10. Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Раваева М.В. Физиологические механизмы variability сердечного ритма (обзор литературы) // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. 2008. Т. 21. № 3 (60). С. 168–189.
11. Вегетативные расстройства. Клиника. Диагностика. Лечение / Под ред. А.М. Вейна. М.: Изд-во ООО Медицинское информационное агентство. Оформление, 2003. 752 с.
12. Кашкенчиев М.Э. Реактивность вегетативной нервной системы подростков – горцев // Наука новые технологии и инновации. 2015. № 9. С. 79–80.

УДК 612.46:546.161

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРИДОВ В МОЧЕ**¹Лисецкая Л.Г., ¹Меринов А.В., ^{1,2}Шаяхметов С.Ф.**¹*Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, Ангарск, e-mail: lis_lu154@mail.ru;*²*Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, Иркутск*

Усовершенствование методики измерения концентрации фторид-ионов в пробах мочи с целью устранения мешающих влияний и улучшения точности определения. Исследования проб на содержание фторид-ионов выполняли ионоселективным методом. Особенностью предлагаемой методики является устранение матричного эффекта в сложных по составу пробах, что достигается введением в стандартный буферный раствор динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б). Применение Трилона Б увеличивает степень извлечения на 10% по сравнению с использованием стандартного буферного раствора и обеспечивает степень извлечения вещества на уровне 99,7%. Методом добавок оценена правильность получаемых результатов, что позволило установить оптимальные условия проведения анализа. Впервые определены показатели прецизионности, воспроизводимости и точности методики измерения фторид-иона в пробах мочи. Для диапазона измерений 0,19–40,00 мг/дм³ стандартные отклонения, рассчитанные в условиях повторяемости и воспроизводимости, составляют соответственно 3,76 и 5,2%. Показатель точности измерения не превышает ±11%. Для оценки возможности использования результатов измерения при реализации методики в деятельности конкретной лаборатории рассчитаны значения пределов повторяемости и воспроизводимости. Приведены результаты измерения концентрации фторидов в моче пациентов с различной фтористой нагрузкой. Усовершенствованная методика позволяет производить измерения в диапазоне, перекрывающем измеряемые уровни у лиц с различной техногенной нагрузкой. Впервые рассчитаны показатели прецизионности, воспроизводимости и точности усовершенствованной методики.

Ключевые слова: фторид-ион, моча, количественный анализ, потенциметрический метод, прецизионность, точность

OPTIMIZATION OF METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF THE FLUORIDE IN URINE**¹Lisetskaya L.G., ¹Merinov A.V., ^{1,2}Shayakhmetov S.F.**¹*East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, e-mail: lis_lu154@mail.ru;*²*The Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – a branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Irkutsk*

Improvement of the procedure for measuring the concentration of fluoride ions in urine samples in order to eliminate the interfering influences and improve the accuracy of the determination. Studies of samples for the content of fluoride ions were performed by an ion-selective method. A feature of the proposed technique is the elimination of the matrix effect in complex samples, which is achieved by adding to the standard buffer solution the disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid. This procedure increases the recovery rate by 10% compared to the use of a standard buffer solution and provides a recovery level of 99.7%. The correctness of the obtained results was estimated by the method of additives, which allowed to establish the optimal conditions for the analysis. The indicators of precision, reproducibility and accuracy of the fluoride-ion measurement method in urine samples were first determined. For the measuring range 0.19–40.00 mg/dm³, standard deviations calculated under repeatability and reproducibility conditions are 3.76 and 5.2%, respectively. The measurement accuracy index does not exceed ± 11%. To assess the possibility of using measurement results when implementing the methodology in the activity of a particular laboratory, the values of the limits of repeatability and reproducibility are calculated. The results of measurements of fluoride concentrations in the urine of patients with different fluoride loads are presented. The improved technique allows to make measurements in a range overlapping the measured levels in persons with different technogenic loads. Precision, reproducibility and accuracy of the improved methodology were calculated for the first time.

Keywords: fluoride ion, urine, quantitative analysis, potentiometric method, precision, accuracy

Угроза здоровью человека, связанная с загрязнением окружающей среды, является в настоящее время одной из самых актуальных проблем [1, 2]. Для адекватной оценки антропогенной нагрузки наиболее надежным методом является контроль содержания химических соединений в биологических средах [3–5]. В настоящее время данный прием рекомендован экспертами ВОЗ как наиболее доказательный [6].

Фтористые соединения широко применяются в различных отраслях промыш-

ленности. На предприятиях алюминиевой промышленности данный токсикант значительно превышает гигиенические нормы [7, 8]. Ионы фтора постоянно входят в состав организма человека и содержатся главным образом в костной и зубной тканях. При недостатке фторидов у человека развивается кариес зубов, при повышенном поступлении – флюороз. Высокие концентрации ионов фтора опасны ввиду их способности к ингибированию ряда ферментативных реакций, а также к связыва-

нию важных в биологическом отношении элементов (P, Ca, Mg и др.), нарушающему их баланс в организме [9]. Количественная оценка содержания фторид-иона в моче базируется на ионоселективном методе определения, характеризующимся высокой селективностью и чувствительностью метода. Однако в указанной методике не учитываются мешающие влияния. *Ион фтора* образует с некоторыми катионами малодиссоциированные комплексные соединения, а с катионами щелочноземельных металлов – малорастворимые фториды. Пробы мочи содержат значительное содержание минеральных веществ, преимущественно солей кальция и магния. При этом фторид-ионы могут находиться в связанном состоянии, что влияет на результаты измерения.

Целью нашей работы было усовершенствование методики определения фторид-ионов в пробах мочи с целью улучшения точности определения.

Материалы и методы исследования

Исследования выполняли специалисты лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФБГНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований». Объектами исследования являлись биологическая среда (моча), стандартные растворы фторид-иона, метрологические характеристики измерительного процесса.

Исследования проб на содержание фторид-ионов выполняли ионоселективным методом с использованием иономера Мультигест ИПЛ-211. Градуировочную зависимость строили в координатах: значение

p Градуировочных растворов, соответствующих отрицательному логарифму концентрации ионов фтора, $-\lg[F^-]$, моль/дм³ – значение потенциала электрода, мВ.

Результаты исследования и их обсуждение

За основу определения была взята методика ионоселективного определения фторид-ионов в моче ионоселективным методом [10]. Для устранения мешающих влияний была использована натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б), обладающая способностью превращать нерастворимые соли кальция и магния в растворимые путем извлечения ионов металла из солей и замещения их на ионы натрия, соли которого растворимы и легко определяются.

Правильность результатов оценивали методом добавок. В качестве добавки использовался раствор, содержащий 0,4 мг фторид-иона (табл. 1).

Материалы исследований показали, что лучшие результаты достигнуты при добавлении в буферный раствор Трилона Б в концентрации 0,025 М. Для оценки степени извлечения добавки провели эксперимент с различной величиной добавки (табл. 2).

Как видно из табл. 2, степень извлечения добавки при использовании стандартного буферного раствора составляет 91,1–91,9%, в то время как применение Трилона Б увеличивает степень извлечения в среднем на 10%.

Таблица 1

Результаты анализ проб мочи с различным составом буферного раствора

Состав буферного раствора	Величина введенной добавки, мг	Величина найденной добавки, мг	Степень извлечения добавки, %
Буфер БРОИС	0,4	0,37 ± 0,002	92,5 ± 0,4
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,001М)	0,4	0,384 ± 0,001	95,6 ± 0,6
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,025М)	0,4	0,406 ± 0,001	100,4 ± 0,4
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,033М)	0,4	0,385 ± 0,002	96,2 ± 0,5
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,05М)	0,4	0,385 ± 0,003	96,2 ± 0,7

Таблица 2

Результаты анализа проб мочи с различной величиной добавки

Состав буферного раствора	Величина введенной добавки, мг	Величина найденной добавки, мг	Степень извлечения добавки, %
Буфер БРОИС	0,025	0,023 ± 0,0003	92,0 ± 1
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,025М)	0,025	0,025 ± 0,0006	100,4 ± 2,4
Буфер БРОИС	0,1	0,091 ± 0,001	91,2 ± 1
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,025М)	0,1	0,101 ± 0,001	100,1 ± 1,4
Буфер БРОИС	0,2	0,18 ± 0,002	91,4 ± 1,1
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,025М)	0,2	0,2 ± 0,002	100,1 ± 1
Буфер БРОИС	0,5	0,46 ± 0,005	91,9 ± 0,9
Буфер БРОИС + Трилон Б (0,025М)	0,5	0,49 ± 0,01	99,8 ± 0,9

Таблица 3

Метрологические характеристики усовершенствованной методики измерения концентрации фторид-иона в моче

Показатели	Рассчитанные значения
Диапазон измерений, мг/дм ³	0,19-40,00
Стандартное отклонение повторяемости, σ_r , %	3,76
Пределы повторяемости, r	10,5
Стандартное отклонение воспроизводимости, σ_R , %	5,26
Пределы воспроизводимости, R	14,7
Показатель точности, $\pm\delta$, %	11

Таблица 4

Содержание фторид-иона в моче населения Иркутской области

Категория обследованных лиц	Количество проб	Концентрация фторид-иона в моче $M \pm m$ (min-max), мг/дм ³
Дети	165	0,67 \pm 0,14 (0,45–0,74)
Взрослое население	35	0,65 \pm 0,17 (0,46–3,21)
Стажированные работники	32	1,83 \pm 0,12 (0,85–4,67)
Пациенты с ПЗ в постконтактном периоде до 5 лет	23	1,69 \pm 0,14 (0,52–2,95)
Пациенты с ПЗ в постконтактном периоде 5–10 лет	29	1,48 \pm 0,1 (0,57–2,77)
Пациенты с ПЗ в постконтактном периоде 10 лет и более	7	1,29 \pm 0,17 (0,83–2)

В ходе разработки методики впервые были рассчитаны основные метрологические характеристики – показатели прецизионности и точности (табл. 3).

Представленные значения пределов повторяемости и воспроизводимости характеризуют параметры методики, при которых полученные результаты будут признаны приемлемыми. Экспериментальная оценка показала, что для всего диапазона концентраций средняя полнота извлечения составляет 99,7%. При соблюдении всех регламентированных условий проведения анализа погрешность результатов измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$ не превышает 11%.

Несмотря на многочисленные публикации, касающиеся токсичности фтористых соединений и влияния их на состояние здоровья при профессиональном и экологическом воздействии, публикаций по методологии проведения биомониторинга фторидов крайне мало. В отечественных руководствах существует уже упоминавшаяся методика, основанная на ионоселективном измерении. А.Г. Колесник с соавторами [11], была сделана попытка модифицировать данную методику. Однако модификация заключалась в увеличении числа определений и усреднении результатов, что уменьшает коэффициент вариации, но не влияет на точность определения. Следует сказать, что ни отечественная, ни зарубежная методика не учитывают мешающее влияние

состава матрицы. Кроме того, отсутствуют показатели прецизионности и точности для внутреннего и внешнего контроля качества проводимых измерений, что в настоящее время является необходимым условием для всех лабораторий [12]. Кроме того, методические приемы, положенные в основу метода определения, должны быть доступными, недорогими и индикативными. Представленные нами материалы по модификации методики развивают нормативно-методическую базу исследований и приводят ее в соответствие с современными требованиями.

В ходе апробации методики были проведены исследования населения Иркутской области, подвергающегося воздействию фтористых соединений в различной степени. Содержание фторид-ионов в моче определяли у детей и взрослых, проживающих в промышленных центрах, и у поступивших в стационар работников алюминиевого производства Иркутской области с профессиональными заболеваниями (ПЗ) (табл. 4).

Как видно из данных табл. 4, у стажированных работников (стаж работы более 10 лет), продолжающих трудовую деятельность, содержание фторид-иона в моче колебалось в пределах от 0,85 до 4,67 мг/дм³, а у не работающих пациентов с профессиональным хроническим токсико-пылевым бронхитом и профессиональной хронической интоксикацией соединениями фтора – от 0,52 до 2,95 мг/дм³. У обследованных ста-

жированных работников, продолжающих трудовую деятельность, и у 30% неработающих работников алюминиевого производства содержание фторидов в моче превышало региональные уровни для взрослого населения. Элиминация фторид-иона продолжается и после окончания воздействия. По данным О.Ф. Рослого с соавторами [13], концентрация фторидов в моче работников Екатеринбургского алюминиевого завода в среднем составляет 2 мг/дм³. Детское население Иркутской области характеризуется сравнительно узким диапазоном содержания фторидов (табл. 4), в то время как в Пермском крае региональный уровень содержания фтора в моче детского населения составляет 0,32–1,32 мг/дм³ [14]. Таким образом, усовершенствованная нами методика позволяет производить измерения в диапазоне, перекрывающем указанные уровни, и может быть использована для оценки комплексной антропогенной нагрузки на территории при проведении санитарно-гигиенического мониторинга.

Заключение

Экспериментальные исследования показали, что применение Трилона Б, добавление Трилона Б снижает мешающее влияние матричных катионов и позволяет улучшить точность определения фторид-иона в пробах мочи, увеличивая степень извлечения определяемого компонента в среднем на 10%. Нами установлены оптимальные условия проведения измерений. Диапазон определяемых концентраций составляет 0,19–40,0 мг/дм³. Усовершенствованная методика позволяет производить оценку содержания фторид-ионов в моче у лиц с различной техногенной нагрузкой. Впервые рассчитаны показатели прецизионности, воспроизводимости и точности методики, которые в соответствии с современными требованиями необходимо использовать при оформлении результатов измерений и оценке деятельности лабораторий на качество проведения измерений при реализации методики измерений.

Список литературы

1. Онищенко Г.Г. Окружающая среда и состояние здоровья населения. Экологическая доктрина России в контексте общенациональной стратегии устойчивого развития // Гигиена и санитария. 2001. № 3. С. 3–10.
2. Бобровицкий И.П., Яковлев М.Ю., Нагорнев С.Н., Худов В.В., Скальный А.В., Рахманин Ю.А. Научные и организационно-методические основы реализации приоритетных проектов медицины окружающей среды как интегративного профилактического направления медицинской науки и практического здравоохранения // Микроэлементы в медицине. 2017. № 2. С. 3–9.
3. Борисова. Е.Я., Иванова Г.Ф., Калетина Н.И., Мишихин В.А., Симонов Е.А., Скальная М.Г., Скальный А.В., Смирнов А.В., Чукарин А.В. Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ токсикантов: учебное пособие. М.: ГЭОТАР_Медиа, 2008. 1016 с.
4. Элементный статус населения России. Часть 1. Общие вопросы и современные методические подходы к оценке элементного статуса индивидуума и популяции / Под ред. А.В. Скального, М.Ф. Киселева. СПб.: Медкнига «ЭЛБИ_СПб», 2010. 415 с.
5. Измеров Н.Ф., Денисов Э.И., Прокопенко Л.В., Сивочалова О.В., Степанян И.В., Челищева М.Ю., Чесалин П.В. Методология выявления и профилактики заболеваний, связанных с работой // Медицина труда и промышленная экология. 2010. № 9. С. 1–7.
6. Гилева О.В., Уланова Т.С., Вейхман Г.А., Недоштова А.В., Стенно Е.В. Методическое обеспечение определения токсичных и эссенциальных элементов в биологических средах человека для задач социально-гигиенического мониторинга и биомедицинских исследований // Гигиена и санитария. 2016. № 1. С. 116–121.
7. Шаяхметов С.Ф., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В. Оценка токсико-пылевого фактора в производстве алюминия (аналитический обзор) // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 4. С. 30–35.
8. Медицина труда при электролитическом получении алюминия / Под ред. О.Ф. Рослого. Екатеринбург, 2011. 160 с.
9. Оберлиз Д., Харланд Б.Ф., Скальный А.В. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с.
10. МУК 4.1.773-99. Количественное определение ионов фтора в моче с использованием ионселективного электрода. М.: Минздрав России, 2000. 8 с.
11. Колесник А.Г., Капустин А.М., Кулаженко Т.В., Житков М.Ю., Серебренникова Л.Е., Степанова И.А., Серебренникова В.Г. Мониторинг экскреции фторида с мочой с использованием отечественных фторидселективного электрода и иономера. Нормы для регионов с различной обеспеченностью фторидом, усовершенствованная медицинская технология № ФС-2006/018-У // Институт стоматологии. 2007. № 2. С. 68–71.
12. Терещенко А.Г., Пикула Н.П., Толстихина Т.В. Внутривлабораторный контроль качества результатов анализа с использованием лабораторной информационной системы. Бинном, 2012. 315 с.
13. Рослый О.Ф., Лихачева Е.И., Вагина Е.Р. Медицина труда при электролитическом получении алюминия. Екатеринбург: Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий, 2011. 160 с.
14. Здоровье населения и окружающая среда: методическое пособие: раздел в системе «Социально-гигиенического мониторинга». М., 2004. Выпуск 3. Часть 3 (2). С. 272–273.

УДК 616.322:577.175.5

ВЛИЯНИЕ ГЛЮКОКОРТИКОИДОВ НА ФУНКЦИЮ НЕБНЫХ МИНДАЛИН И ПЕРИФЕРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРОВИ**¹Насыров М.В., ²Бакиева К.К.**¹*Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина, Бишкек;*²*Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек, e-mail: kalyska_92@mail.ru*

В статье приводятся результаты анализа обследования 78 пациентов, по данным ЛОР отделения Национального госпиталя при Минздраве Кыргызской Республики в период с января 2016 г. по июль 2018 г., с тонзиллит индуцированными инфильтративными и гнойными осложнениями в виде паратонзиллита, ретрофарингеального и паратонзиллярного абсцесса, лимфаденита шейных и подчелюстных лимфатических узлов. Показано, что периферический анализ крови на 2–3 сутки характерно изменяется на фоне применения глюкокортикоидов. Наблюдаемый сдвиг лейкоформулы обратимый, что связано как с нейтропеническим, так и лейкоцитстимулирующим эффектом глюкокортикоидов. Вследствие полученных результатов исследования делается вывод о том, что глюкокортикоиды в физиологических дозах при парентеральном введении на непродолжительный курс лечения (3–5 дней) влияют на все фазы воспаления, препятствуют распространению воспалительного процесса. Тем самым способствуют быстрому уменьшению инфильтрации мягких тканей в тонзиллярной области и более быстрому обратному развитию процесса как клинически, так и субъективно. Парентеральные глюкокортикоиды эффективны и безопасны при лечении тонзиллогенных осложнений и не вызывают явлений гипокортицизма и других побочных действий при кратковременном курсе лечения.

Ключевые слова: паратонзиллит, ангина, тонзиллит, осложнения тонзиллита, глюкокортикоиды**INFLUENCE OF GLUCOCORTICOIDS ON THE FUNCTION OF PALATINE TONSILS AND PERIPHERAL BLOOD ANALYSIS****¹Nasyrov M.V., ²Bakieva K.K.**¹*Kyrgyz Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, Bishkek;*²*Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek, e-mail: kalyska_92@mail.ru*

The article presents the results of the control analysis of 78 patients, according to the data of the ENT department of the National Hospital at the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic from January 2016 to July 2018, with tonsillitis induced by infiltrative and purulent complications in the form of paratonsillitis, retrofaringue and paratonsillar abscess, lymphadenitis of cervical and submandibular lymph nodes. It is shown that peripheral analysis of blood for 2-3 days is characteristic for application to glucocorticoids. The observed shift of the leukoformula is reversible, which is associated with neutropenic and leukocyststimulating effect of glucocorticoids. Due to the results of a study conducted to the point that glucocorticoids in physiological doses when administered parenterally for a short course of treatment (3-5 days) affect all phases of inflammation, prevent the spread of the inflammatory process. Thus, they contribute to a rapid reduction in the infiltration of soft tissues in the tonsillar region and a faster reverse development of the process both clinically and subjectively. Parenteral glucocorticoids are effective and safe in the treatment of tonsillitis complications and do not cause hypocorticism and other side effects in a short-term course of treatment.

Keywords: paratonsillitis, tonsillitis, complications of tonsillitis, glucocorticoids

Лимфоидные скопления глоточного кольца, главным образом небные миндалины, составляют основу лимфоидной ткани, ассоциированной со слизистыми оболочками (MALT), и являются существенным отделом человеческого организма благодаря криптозному строению, в котором выполняется функция иммунного барьера слизистых оболочек и лимфопоз [1, 2].

По убеждению многих авторов главную роль в патогенезе хронического воспалительного процесса в небных миндалинах играет иммунодефицитное состояние, иными словами развитие хронического тонзиллита считается вторичным и рассматривается как признак иммунодефицита [3]. По статистическим

данным у 40–69% пациентов, переболевших различными формами тонзиллита, на фоне состояния предполагаемого иммунодефицита возникают регионарные осложнения, такие как паратонзиллит, паратонзиллярный, ретрофарингеальный абсцесс, лимфаденит и другие, что позволяет считать возникновение тонзиллит-индуцированных инфильтративно-гнойных осложнений одним из самых распространённых острых ургентных воспалительных заболеваний глотки [3, 4]. В итоге, местные инфильтративно-гнойные осложнения глотки при тонзиллитах встречаются у 9,5% заболевших той или иной формой тонзиллита и в 35,4% случаев развивается на фоне хронического тонзиллита [3].

Хирургическое вскрытие, дренирование и антибиотикотерапия являются терапией выбора при лечении гнойно-инфильтративных осложнений глотки тонзиллит-индуцированного генеза [5]. Однако глюкокортикоидная терапия является одним из звеньев в комплексном лечении данных иммунодефицитных состояний и предотвращает генерализацию местных и системных осложнений различной инфекции. Выбор глюкокортикоидной терапии зависит от тяжести состояния, но в первую очередь следует отдавать предпочтение препаратам широкого спектра действия антибиотиков.

Следует помнить, что глюкокортикоиды обладают незаменимым фармакологическим эффектом – они воспроизводят эффекты естественных гормонов при их дефиците в организме.

Цель исследования: изучить влияние парентеральных глюкокортикоидов на периферический анализ крови и локальную картину при осложнениях тонзиллогенного генеза.

Материалы и методы исследования

1. Проанализированы результаты периферического анализа крови 78 пациентов, госпитализированных в ЛОР отделение НГ МЗ КР с различными тонзиллогенными осложнениями. Из 78 больных незначительно превышало количество женщин, что составило 46 (57,6%), а мужчин – 33 (42,3%). Возраст пациентов от 17 до 85 лет. В зависимости от типа локализации воспалительного процесса и от тяжести осложнения эти пациенты были разделены на 4 нозологические группы.

2. Проведены исследования колебания гематологических параметров периферического анализа крови пациентов, получивших в составе противовоспалительной и дезинтоксикационной терапии фторированный стероидный гормон (дексаметазон) и нефторированный стероид (преднизолон). Сравнение показателей между собой с результатами при выписке больных, не получавших глюкокортикоидную терапию.

В практике оториноларинголога гормоны используются крайне редко для диагностических и терапевтических целей. Раньше оториноларингологами широко применялась преднизолоновая проба для проведения исследования функционального резерва небных миндалин и для выявления безангинозных форм хронических тонзиллитов, так как небные миндалины при хроническом воспалительном процессе могут служить латентным резервом функциональной иммунологической активности. Употребление глюкокортикостероидных гормонов как в инъекционной форме, так и в таблетированном виде увеличивает миграцию лейкоцитов на поверхность небных миндалин [2]. Обширный прирост лейкоцитов на поверхности небных миндалин подтверждает скрытый воспалительный процесс в миндалинах (безангинозная форма хронического тонзиллита) [2, с. 274]. Вышеуказанное фармакологическое действие преднизолона усиливать миграцию лейкоцитов из ткани миндалин на поверхность, в просвет лакун и крипт, используется для оценки миграции лимфоцитов, характеризую-

щих функциональную активность миндалин. После первоначального анализа функциональной активности ткани небных миндалин, пациент однократно перорально принимал преднизолон из расчета 1 мг на 10 кг (полных или неполных) массы тела с дальнейшим контрольным анализом содержимого крипт через два часа. Подсчитывали показатели форменных элементов крови под микроскопом до и после перорального применения преднизолона, и результат сравнивался. Повышение число лимфоцитов в 2–3 раза характеризует физиологически нормальный функциональный резерв небных миндалин [2, с. 274].

Существуют стероидные гормоны синтетического генеза – нефторированные (метилпреднизолон, преднизон, преднизолон) и фторированные (дексаметазон, бетаметазон, триамцинолон, флуметазон и др.) Последние, более активны, чем глюкокортикостероиды природного генеза, действуют в минимальных дозах, также обладают синергетическим соотношением между глюкокортикоидной противовоспалительной и минералокортикоидной активностью. В свою очередь фторированные глюкокортикоиды характеризуются высокой эффективностью и меньшей вероятностью развития системных побочных эффектов [6–8].

На сегодняшний день в клинической практике вместо преднизолона используют дексаметазон, применение которого позволяет исследовать функциональный резерв и функциональную иммунологическую активность небных миндалин не через 2 часа, а через 15 мин [1, с. 260].

После приема даже одной дозы пероральных стероидных гормонов в отличие от парентеральных на 2–3-е сутки наблюдаются: снижение количества лимфоцитов, моноцитов, эозинофилов и базофилов в крови, стимулируется выход нейтрофилов из ткани костного мозга и увеличение их числа в периферической крови (нейтрофильный лейкоцитоз) [6, с. 79]. Механизм снижения количества лимфоцитов в периферическом анализе крови и лимфоидных тканей неоднородный, обуславливается фармакодинамическими и фармакокинетическими процессами, а также дозой стероидных препаратов. Так при однократном или кратковременном введении глюкокортикоидов лимфоцитопения обусловлена перераспределением лимфоцитов между отдельными лимфоузлами и селезенкой [6, с. 48].

Исходя из вышеизложенного, противовоспалительные и другие свойства глюкокортикостероидов применяются в оториноларингологии при тонзиллит-индуцированных инфильтративных и гнойных осложнениях, так как стероидные гормоны улучшают микроциркуляцию в центре воспаления, резко снижают проницаемость сосудистой стенки вызывая вазоконстрикцию капилляров, уменьшают секреции экссудата и стабилизируют клеточные мембраны, тем самым уменьшают гиперсекрецию жидкости в поврежденной ткани подавляют воспалительный процесс инфекционного, аллергического и травматического происхождения [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Нами проведено исследование локальной картины и анализа периферической крови больных с тонзиллогенными патологиями после введения глюкокортикоидов на 2-е и 3-е сутки.

О положительных эффектах в комплексном назначении гормонов с антибактериальными препаратами судили на основании сроков регрессии характерных симптомов, жалоб, локальной картины, а также динамики лабораторных исследований.

В зависимости от типа локализации, частоты эпизодов воспалительного процесса в глотке и от тяжести осложнения эти пациенты были разделены на 4 группы (табл. 1):

I группа – 13 (16, 6%) пациентов, впервые заболевших паратонзиллитом, II группа – 35 (44, 8%) пациентов с обострением хронического тонзиллита и с последующим первичным осложнением: ретрофарингеальный абсцесс, паратонзиллярный абсцесс, III группа – 9 (26,9%) пациентов с рецидивирующими паратонзиллярными абсцессами, IV группа – 21 (26,9%) пациент со всеми тонзиллярными осложнениями и лимфаденитом шейных подчелюстных лимфатических узлов. Контрольную группу составили 15 пациентов с теми же диагнозами, получивших лечение без глюкокортикоидов в возрасте от 18 до 65 лет.

У пациентов, получавших антибиотикотерапию вместе с кортикостероидами, купирование доминирующих патологических симптомов происходило достаточно раньше, чем при традиционном лечении (табл. 2).

На фоне парентерального получения стероидных гормонов через короткое время

(24–48 ч) отмечалось улучшение общего состояния пациентов – регрессия симптомов интоксикации по типу исчезновения слабости, снижения температуры тела, появления аппетита. Со стороны локального статуса отмечалось уменьшение инфильтрации и отека тканей глотки, болезненности, иррадиирующей в близлежащие органы, соответственно расслабление тризма жевательных мышц и гранулирование раны при паратонзиллитах, пара- и ретрофарингеальных абсцессах, лимфаденитах и др. (табл. 2).

Проанализировав сроки выздоровления и длительность нахождения в стационаре больных тонзиллогенными осложнениями, страдающих хроническим тонзиллитом, мы пришли к выводу, что при проведении глюкокортикоидной терапии с антибиотикотерапией средняя продолжительность пребывания в больнице была намного короче, чем при традиционном лечении.

При интерпретации данных анализа крови у всех больных, получавших стероидную гормональную терапию, независимо от тяжести тонзиллогенных регионарных осложнений отмечался подъем общего числа лейкоцитов на фоне воспалительного процесса, а также обусловленный лейкоцитстимулирующим эффектом глюкокортикостероидов и незначительным снижением лимфоцитов, а в частности, двойным снижением числа лимфоцитов.

Таблица 1

Распределение пациентов по группам

Группы больных	Нозология	Число больных
I группа	Паратонзиллит	13
II группа	Паратонзиллярный, ретрофарингеальный абсцесс	35
III группа	Рецидивирующий паратонзиллярный абсцесс	9
IV группа	Тонзиллогенные осложнения с лимфаденитом шейных и подчелюстных лимфоузлов	21
Всего		78

Таблица 2

Изменения общего состояния и локальной картины без гормонов и с гормонами

Локальные и субъективные данные на 2–3-е сутки после лечения	Глюкокортикоидная терапия	Контрольная группа без глюкокортикоидов
1) тризм жевательной мускулатуры	отсутствует	отсутствует
2) отек паратонзиллярной клетчатки	отсутствует или незначительный	сохраняется
3) гиперсаливация	отсутствует	незначительный
4) боль	незначительная	сохраняется
5) смещение язычка	отсутствует	незначительно или сохраняется
6) регионарные лимфоузлы	безболезненны, уменьшены	увеличены, сохраняется болезненность
7) температура	нормальная	субфебрильная
8) ощущение инородного тела в гортле	незначительно	сохраняется
9) слабость	отсутствует	незначительная
10) гранулирование раны	динамично	замедленно

Таблица 3

Показатели периферического анализа крови больных

Сравнительные группы	Показатели периферического анализа крови				
	лейкоциты	моноциты	лимфоциты	эозинофилы	СОЭ
58 пациентов, получивших дексаметазон	12 ± 0,19	4,86 ± 0	38 ± 11,5	2,18 ± 0,2	30 ± 5
20 пациентов, получивших преднизолон	22 ± 0,19	1,0 ± 3	10 ± 18,5	1 ± 0,2	45 ± 9
контрольная группа без глюкокортикоидов	10 ± 0,5	2 ± 0,9	36 ± 10,5	3,18 ± 5,2	20 ± 5

Сравнительные показатели периферического анализа крови у больных при приеме дексаметазона и преднизолон, а также не получивших глюкокортикоиды, представлены в табл. 3.

При сравнительной оценке результатов гемограммы пациентов, получивших фторированный глюкокортикоид (дексаметазон) в течение трех дней, сдвиг лейкоформулы в пределах физиологической нормы (нейтропенический лейкоцитоз), только в исключительных случаях отмечается лимфоцитопения и эозинопения выше нормы. У пациентов, получивших нефторированный глюкокортикоид (преднизолон) в анализах крови, отмечается нейтропения, вплоть до полного исчезновения определенных форменных элементов крови (лимфоцитопения, анэозинофилия).

Как видно из данных показателей периферического анализа крови, у всех пациентов был статистически значимый подъем лейкоцитов и СОЭ.

Сопоставление средневариабельных данных периферического анализа крови у больных, получивших дексаметазон, показало, что повышение общего количества лейкоцитов наблюдалось у пациентов всех четырех групп и сопровождалось минимальным ростом числа моноцитов на 2–3-е сутки после парентерального введения. Показатели лимфоцитов имели тенденцию к минимизации у пациентов, получивших преднизолон по сравнению с пациентами, получившими дексаметазон и не получившими глюкокортикоиды. Согласно данным литературы, гемограмма соответствовала лейкоцитарному звену иммунного реагирования костного мозга при приеме глюкокортикоидов [6, с. 170].

Исходя из вышеперечисленных, также на основании данных многочисленных экспериментальных исследований мы можем утверждать, что биологические эффекты глюкокортикоидов, вводимых перорально и внутривенно, явно не похожи, один и тот же препарат, вводимый различными путями, может действовать совершенно по-разному.

Инъекционным стероидам при кратковременном курсе терапии присущи многие положительные противовоспалительные, противоаллергические эффекты, в отличие от таблетированных форм. Также при внутривенном введении за короткие сроки терапевтического курса не проявляются такие побочные эффекты глюкокортикоидов, как:

- прибавка в весе;
- нарушение водно-электролитного обмена (гипокальцемия, гипокалиемия);
- ulcerогенное действие;
- подавление функции гипофиза и надпочечников;
- гипертрихоз;
- нарушение белкового обмена.

При внутривенном введении стероид очень быстро разносится кровью во все органы и системы в неметаболизируемом виде и в этом же виде фиксируется клетками, где подвергается дальнейшим превращениям с помощью специфических для каждой из ткани групп клеточных ферментов и незамедлительно экскретируется.

Сочетанное применение глюкокортикоидов с антибиотиками обуславливает ускорение процессов регенерации и скорейшее выздоровление.

Заключение

Таким образом, согласно различным исследовательским данным в патогенезе хронического тонзиллита лежит вторичная причинно-следственная связь состояния иммунодефицита, приводящая к снижению выработки естественных гормонов, в исключительных случаях, таких как воспалительные регионарные осложнения тонзиллогенного генеза, организму требуется необходимость получения гормонов извне. В таких случаях, основываясь на многолетнем опыте и исследовании парентерального применения гормонов, в частности фторированных глюкокортикоидов, использование их в физиологически необходимых минимальных дозах безопасно, наблюдаемый минимальный сдвиг лейкоформулы непо-

стоянный, прежде всего при кратковременном курсе терапии, что не вызывает явление гипокортицизма в отличие от нефторированных и таблетированных глюкокортикоидов. Также клиницист должен знать о нецелесообразности длительного применения кортикостероидов для каждого пациента при гнойных воспалительных процессах с целью предотвращения пролонгации различной инфекции.

Список литературы

1. Гофман В.В. Обоснование хирургического лечения хронического тонзиллита // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2014. № 3. С. 258–264.
2. Князьков В.Б., Князьков В.Б., Гофман В.Р. Лазерная хирургия заболеваний глоточного лимфатического кольца. М.: «ТЕХНОСФЕРА», 2016. 440 с.
3. Ким А.С., Бойко Н.В., Стагниева И.В. Анализ соотношения частоты паратонзиллярных абсцессов и тонзил-
лэктомии у детей // Клиническая больница. 2018. № 1 (23). С. 42–43.
4. Кирасирова Е.А., Горбан Д.Г., Тарасенкова Н.Н., Мирошниченко Н.А., Пиминиди О.К. Тактика лечения больных с осложненным течением тонзиллогенной инфекции // Вестник оториноларингологии. 2010. № 2. С. 58–59.
5. Насыров М.В., Бакиева К.К. Сосудистая опухоль тонзиллярной области // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 2. С. 7.
6. Алексеенко И.Ф., Кудаяров Д.К. Принципы индивидуализации кортикостероидной терапии у детей. Фрунзе: Илим, 1986. 260 с.
7. Бойчук С.В., Мустафин И.Г., Фассахов Р.С. Механизмы глюкокортикоид-индуцированного апоптоза лимфоцитов крови при atopической бронхиальной астме // Казанский медицинский журнал. 2002. № 3. С. 185.
8. Goudoshnikov V.I. The role of glucocorticoids in aging and age-related pharmacotherapy // Успехи геронтологии. 2011. № 1. Р. 48–53.
9. Ландышев Ю.С. Механизмы действия и основные терапевтические эффекты глюкокортикоидов // Амурский медицинский журнал. 2014. № 1 (5). С. 10–29.

РОЛЬ АННЕЛИД (ANNELIDA) В ОЗЕРАХ НАРОЧАНСКОЙ СИСТЕМЫ (БЕЛАРУСЬ)

¹Батурина М.А., ²Макаревич О.А., ³Кайгородова И.А., ²Жукова Т.В., ²Адамович Б.В.

¹*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: baturina@ib.komisc.ru;*

²*Белорусский государственный университет, Минск*

³*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск*

Интерес к структуре бентосного сообщества озер Нарочанской группы определяется тем, что озера за последние годы прошли несколько стадий эволюции структурной и функциональной организации: антропогенного эвтрофирования (1978–1983 гг.); олиготрофикации (с 1984 по 1990 гг. для оз. Нарочь, и с 1984 по 1989 гг. для оз. Мястро и Баторино) и бентификации (с 1991 г. для оз. Нарочь и с 1990 г. для оз. Мястро и Баторино по настоящее время). В настоящее время по отношению к периоду антропогенного эвтрофирования существенно снизились параметры, которые принято считать показательными при оценке трофности водоема (фосфор, хлорофилл, сестон, прозрачность). Тем не менее при наличии многолетних мониторинговых наблюдений за изменениями структуры и количественными показателями развития зообентоса озер, практически отсутствуют сведения об отдельных группах беспозвоночных животных. И наименее изученными в этом списке можно считать кольчатых червей Annelida (*Clitellata: Oligochaeta, Hirudinea*), которые являются одной из доминирующих систематических групп в экосистеме Нарочанских озер. В представленной работе проведен анализ динамики количественных показателей развития кольчатых червей в водоемах разного трофического статуса, на примере озер Нарочанской группы (Беларусь). Динамика показателей характеризуется снижением доли олигохет и пиявок в эвтрофном озере и повышением этих показателей в олиготрофном. Установлена зависимость численности и биомассы олигохет от ряда гидрохимических и гидрологических показателей.

Ключевые слова: аннелиды, олигохеты, пиявки, макрозообентос, озерные экосистемы, трофический статус, многолетняя динамика, бентификация

THE ROLE OF ANNELID WORMS (ANNELIDA) IN THE NAROCH LAKES SYSTEM (BELARUS)

¹Baturina M.A., ²Makarevich O.A., ³Kaygorodova I.A., ²Zhukova T.V., ²Adamovich B.V.

¹*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, e-mail: baturina@ib.komisc.ru;*

²*Belarusian State University, Minsk*

³*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk*

The interest in the structure of the benthic community of the Naroch Lakes system is determined by the fact that in recent years the lakes have passed through several stages of evolution of the structural and functional organization: anthropogenic eutrophication (1978–1983); oligotrophication (1984–1990 for Lake Naroch, and 1984–1989 for Lake Myastro and Batorino); and present benthification (beginning from 1991 for Lake Naroch and from 1990 for Lake Myastro and Batorino). Currently, the trophic indices of the reservoir (such as phosphorus, chlorophyll, seston, transparency) have significantly decreased compared with the period of anthropogenic eutrophication. However, in the presence of long-term monitoring observations of changes in the structure and quantitative indicators of the development of zoobenthos, there is practically no information about individual groups of invertebrates of these lakes. Despite annelid worms (Annelida: Oligochaeta, Hirudinea) are one of the dominant systematic groups in the ecosystem, ringed worms is still the least studied in the Naroch Lakes system. The dynamics of Annelida (*Clitellata: Oligochaeta, Hirudinea*) in the lakes with different trophic status (Naroch, Myastro, Batorino) was analyzed. The dynamics is characterized by a decrease of the proportion of oligochaetes and leeches in the eutrophic lake and an increase of such proportion in the oligotrophic lake. The interrelation between the density and biomass of oligochaetes and the number of hydrochemical and hydrological parameters has been established.

Keywords: Annelida, Oligochaeta, Hirudinea, macrozoobenthos, lake ecosystems, trophic status, long-term dynamics, benthification

Изучение изменений, вызванных различными факторами, и происходящих в процессе функционирования озерных экосистем, является одной из задач лимнологии [1]. Решение вопроса об эволюционных процессах в экосистемах приводит, в том числе, к необходимости изучения биоразнообразия водоемов и экологических условий, которые лежат в основе его формирования [2]. Кольчатые черви *Annelida (Clitellata: Oligochaeta, Hirudinea)*

относятся к одной из широко распространенных в разнообразных условиях, географических широтах и типах водоемов групп макрозообентоса. Однако, несмотря на их значение в динамике водных экосистем [3, 4], исследования биологии и роли в оценке качества вод [5–8], знания об их распределении и экологии, по сравнению с другими группами бентоса, достаточно ограничены. Интерес к изучению *Annelida* в озерах Нарочанской системы (Беларусь) обусловлен

тем фактом, что эти озера прошли несколько этапов эволюции [9, 10]. Это показано как на примере физико-химических параметров среды, так и на примере развития различных элементов биоты [10, 11]. Наблюдение за развитием одной из преобладающих групп зообентоса в исследуемых озерах позволит не только расширить сведения об экологии данной группы беспозвоночных, но и выявить вероятные закономерности развития червей в озерах различного трофического статуса.

Цель исследования: анализ данных о развитии одной из групп макрозообентоса (*Annelida*) в озерах с разным трофическим статусом.

Материалы и методы исследования

В анализ вошли данные, полученные сотрудниками НИЛ гидроэкологии и Нарочанской биологической станции БГУ (Беларусь) за время регулярных мониторинговых наблюдений на озерах Нарочанской системы в период с 1997 по 2016 г., а также использованы архивные материалы, частично представленные в работе [12]. Отбор проб макрозообентоса в оз. Нарочь, Мясстро и Баторино проводили на постоянных станциях по принципу полуразрезов от берега к наибольшей глубине (от 5 до 8 точек), в течение вегетационного сезона с мая по октябрь. Подробное описание отбора гидробиологических проб зообентоса приведено в работе [12]. Численность и биомассу донных животных пересчитывали на площадь дна (1 м²) в зависимости от их распределения по исследованным глубинам в соответствии с морфометрическими данными озер. В настоящей работе обсуждается средняя взвешенная численность и биомасса бентоса. Наличие и оценку степени связи между признаками определяли с помощью коэффициента корреляции Пирсона. Перед расчетом коэффициентов корреляции показатели подвергли логарифмированию по основанию 10.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящей работе мы рассматриваем следующие этапы: 1) антропогенного эвтрофирования (1978–1983 гг.); 2) олиготрофикации (с 1984 по 1990 г. для оз. Нарочь и с 1984 по 1989 г. для озер Мясстро и Баторино); 3) период бентификации (с 1991 г. для оз. Нарочь и с 1990 г. для озер Мясстро и Баторино по настоящее время). Все они характеризуются определенными параметрами среды и уровнем развития биоты [11]. На современном этапе, который описывается как период бентификации, каждое из трех озер каскада имеет свой уровень трофности: Нарочь (олиго-мезотрофный), Мясстро (мезотрофный) и Баторино (эвтрофный водоем). Отмечается, что продуктивность озер в этот период возросла за счет роли донных и прикреплённых сообществ [10, 11].

В составе донных сообществ Нарочанских озер группа аннелид играет заметную

роль. С момента начала регулярных мониторинговых наблюдений в 1997 г. олигохеты встречены в половине, а пиявки в 30% гидробиологических проб. В общей численности бентоса доля олигохет составляла от 19,1 до 35,9%, в биомассе – от 10,6 до 15,8%. Эти же значения для пиявок были несколько ниже: по численности они составляли 0,04–5,1%, а по биомассе – 0,06–16,3%.

Анализ количественных данных развития олигохет по временным периодам (рис. 1) показал, что период бентификации (с 1991 г. по сегодняшний день) характеризуется снижением доли олигохет в общей численности и биомассе бентоса, по сравнению с другими периодами, в эвтрофном оз. Баторино и повышением этих показателей в олиготрофном оз. Нарочь.

С 1991 по 2016 г. наибольшие средние значения численности и биомассы олигохет отмечаются в мезотрофном озере Мясстро ($253,8 \pm 50,1$ экз/м² и $0,62 \pm 0,12$ г/м²) и олиготрофном озере Нарочь ($235,4 \pm 12,9$ экз/м² и $0,93 \pm 0,06$ г/м²). Наименьшие показатели количественного развития олигохет ($73,5 \pm 18,1$ экз/м² и $0,09 \pm 0,02$ г/м²) указывались для эвтрофного озера Баторино. Так же в оз. Нарочь и Мясстро отмечались наибольшая численность ($74,6 \pm 9,6$ и $21,4 \pm 7,0$ экз/м²) и биомасса ($1,16 \pm 0,19$ и $0,22 \pm 0,07$ г/м²) пиявок в сравнении с оз. Баторино ($8,0 \pm 6,1$ экз/м² и $0,03 \pm 0,01$ г/м²). Сходное соотношение параметров на современном этапе развития озер отмечалось в целом и для общего бентоса: наибольшие значения численности и биомассы указывались для озер Нарочь и Мясстро [12].

Известно, что все изменения характеризующие этапы развития озерных экосистем сопровождаются структурными перестройками сообществ, как различных звеньев трофической цепи [13, 14]. Для анализа зависимости показателей развития олигохет и факторов среды были выбраны параметры, изменяющиеся в разные периоды и указывающие на изменение трофического статуса озер [11]: прозрачность воды (SD), концентрация азота (N_{tot}) и фосфора (P_{tot}), углерода (C_{tot}) содержание взвешенного вещества (sest), концентрация хлорофилла (Chl), биохимическое потребление кислорода за 5 сут. (БПК₅), электропроводность (cond). Для отображения трофического статуса озер использовался индекс трофического состояния Карлсона (TSI).

Результаты расчета коэффициента корреляции (таблица) показали, что количественные показатели развития олигохет имеют сильную прямую взаимосвязь ($p = 0,001$) только с прозрачностью воды, а с остальными – обратную.

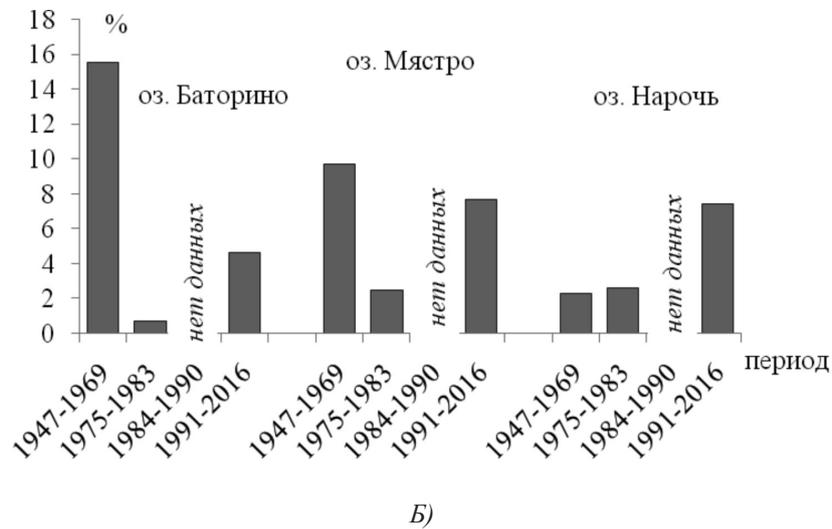
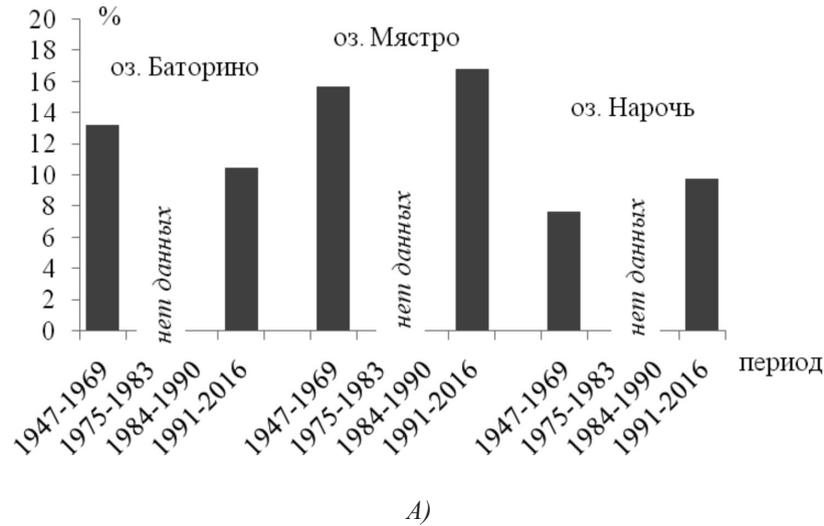


Рис. 1. Доля (%) численности (А) и биомассы (Б) олигохет от общей биомассы и численности зообентоса в озерах Нарочанской системы

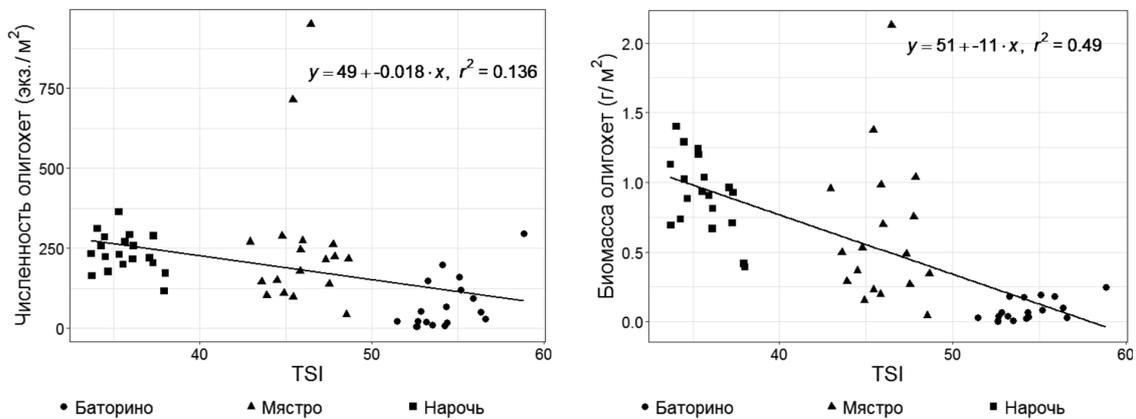


Рис. 2. Связь TSI с численностью, экз./м² и биомассой, г/м² олигохет в Нарочанских озерах. Коэффициенты корреляции приведены в таблице

Коэффициенты корреляции Пирсона между количественными показателями развития олигохет (N oligoch – численность, экз/м²; B oligoch – биомасса, г/м²), индексом Карлсона и гидроэкологическими параметрами Нарочанских озер

	SD	TSI	sest	БПК ₅	Ctot	Ntot	Ptot	Chl	cond
N oligoch	0,62*	-0,55*	-0,62*	-0,51*	-0,58*	-0,53*		-0,54*	-0,63*
B oligoch	0,77*	-0,72*	-0,78*	-0,66*	-0,74*	-0,60*	-0,52*	-0,72*	-0,68*

Примечание. * $p \leq 0,001$.

Все указанные параметры коррелируют между собой и индексом TSI [15], поскольку входят в формулу его расчета. Таким образом, на фоне снижения значений индекса TSI, концентрации биогенных элементов, изменения гидрологических показателей озер увеличиваются показатели количественного развития олигохет (рис. 2).

Заключение

Регулярный учет зообентоса, начиная с 1997 г. по современный период, который приходится на этап бентификации в развитии Нарочанских озер, дает представление о динамике количественных показателей развития групп донных беспозвоночных в озерах разного трофического статуса. Численность и биомасса аннелид (*Oligochaeta* и *Hirudinea*), достигает более 40% и 30% общего бентоса соответственно. Положительная динамика развития кольчатых червей в Нарочанских озерах может быть связана со снижением трофического статуса озер и, соответственно, с параметрами, определяющими этот статус. Дополнительную информацию о водной системе, ее изменениях и структуре макрозообентоса может дать идентификация таксонов до видового уровня. Это подтверждает необходимость проведения дальнейших таксономических исследований этой группы донных беспозвоночных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-54-00009 Бел а и гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Б18Р – 056.

Список литературы

1. Alexander T.J., Vonlanthen P., Seehausen O. Does eutrophication-driven evolution change aquatic ecosystems? *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2016. 372: 20160041. URL: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/> DOI: 10.1098/rstb.2016.0041 (дата обращения: 02.10.2018).

2. Алимов А.Ф., Бульон В.В., Голубков С.М. Ресурсный потенциал видов, сообществ и экосистем континентальных водоемов // *Успехи современной биологии*, 2009. № 129 (6). С. 516–527.

3. Moretto Y., Simoes N.S., Benedito E., Higuti J. Effect of trophic status and sediment particle size on diversity and abundance of aquatic Oligochaeta (Annelida) in neotropical reservoirs. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 2013. № 49. P. 65–78. DOI: 10.1051/limn/2013040.

4. Kazanci N., Ekingen P., Dügel M., Türkmen G. Hirudinea (Annelida) species and their ecological preferences in some running waters and lakes. *International journal of Environmental Science and Technology*. 2015. № 12. P. 1087–1096. DOI: 10.1007/s13762-014-0574-3.

5. Milbrink G. An improved environmental index based on the relative abundance of Oligochaeta species. *Hydrobiologia*, 1983. № 102. P. 89–97.

6. Prygiel J., Rosso-Darmet A., Lafont M., Lesniak C., Durbec A., Ouddane B. Use of oligochaete communities for assessment of ecotoxicological risk in fine sediment of rivers and canals of the Artois-Picardie water basin (France). *Hydrobiologia*, 2000. № 410 (0). P. 25–35.

7. Nijboer R.C., Johnson R.K., Verdonschot P.F.M., Sommerhäuser M., Buffagni A. Establishing reference conditions for European streams. *Hydrobiologia*, 2004. № 516. P. 91–105.

8. Macova S., Harustiakova D., Kolarova J., Machova J., Zlabek V., Vykusova B., Randak T., Velisek J., Poleszczuk G., Hajslova J., Pulkrabova J., Svobodova Z. Leeches as sensor-bioindicators of river contamination by PCBs. *Sensors*, 2009. № 9 (3). P. 1807–1820. DOI: 10.3390/s90301807.

9. Экологическая система Нарочанских озер. Минск, 1985. 302 с.

10. Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М., Ковалевская Р.З., Макаревич Т.А., Жукова А.А., Лукьянова Е.В., Никитина Л.В., Макаревич О.А., Дубко Н.В., Карабанович В.С., Савич И.В., Верес Ю.К. Бентификация озерной экосистемы: причины, механизмы, возможные последствия, перспективы исследований // *Труды БГУ*. 2012. № 7 (1). С. 135–148.

11. Adamovich B.V., Zhukova T.V., Mikheyeva T.M., Kovalevskaya R.Z., Makarevich T.A., Zhukova H.A. Eutrophication, oligotrophication, and benthification in Naroch Lakes: 40 years of monitoring. *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* 2017. № 10 (4). P. 379–394. DOI: 10.17516/1997-1389-0040.

12. Makarevich O.A. Basic results of long-term macrozoobenthos studies in lakes Naroch, Myastro, and Batorino (Belarus). *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/70341>. DOI: 0.17516/1997-1389-0038 (дата обращения: 02.10.2018).

13. Brönmark C., Dahl J., Greenberg L. A. Complex trophic interactions in freshwater benthic food chains. *Evolutionary Ecology of Freshwater Animals*, 2017. P. 55–88.

14. Burlakova L.E., Karatayev A.Y., Pennuto C., Mayer C. Changes in Lake Erie benthos over the last 50 years: Historical perspectives, current status, and main drivers. *J. Great Lakes Res.* 2014. DOI: 10.1016/j.jglr.2014.02.008.

15. Adamovich B.V., Zhukova T.V., Mikheeva T.M. et al. Long-term variations of the trophic state index in the Narochan-skie lakes and its relation with the major hydroecological parameters. *Water Resources*. 2016. № 43 (5). P. 809–817.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЦИАНОБАКТЕРИИ SYNECHOCYSTIS SP. PCC 6803 В ПРИСУТСТВИИ ТОКСИКАНТА И СТИМУЛЯТОРА РОСТА В СРЕДЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Даллакян Г.А., Агеева И.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: honaris@bk.ru

Исследовано влияние синглетного кислорода на рост популяции цианобактерии *Synechocystis sp. PCC 6803* в средах обогащенных шунгитом и бенгальским розовым. Рост культуры цианобактерии снижается в присутствии фотосенсибилизатора. Нарушается окислительно-восстановительный баланс среды. Степень выживания популяции клеток зависит от концентрации в среде шунгита. Культура цианобактерии растет лучше в присутствии 10 мг/л шунгита, и, наоборот, рост культуры снижается в среде 5 мг/л бенгальского розового без шунгита. Одновременно шунгит защищает рост культуры от токсического воздействия бенгальского розового при совместном присутствии в среде культивирования. По сравнению с зелеными водорослями цианобактерии более чувствительны к шунгиту, если 10 г/л шунгита достаточно для стимулирования роста цианобактерии, то для зеленых водорослей необходимо 100 г/л. Цианобактерии в 10 раз чувствительнее к шунгиту, чем зеленые водоросли. Показано, что удельная активность выделения кислорода на единицу хлорофилла снижается в условиях, когда в среде только фотосенсибилизатор. Присутствие в среде шунгита повышает удельную активность выделения кислорода цианобактерии. В начале стационарной фазы роста процент мертвых клеток намного больше в условиях, когда в среде только бенгальский розовый. В присутствии 10 г/л шунгита в среде токсическое действие бенгальского розового инактивируется и количество мертвых клеток становится меньше. Таким образом, шунгит в зависимости от концентрации может стимулировать рост клеток цианобактерии, подавлять их рост или инактивировать действие токсиканта.

Ключевые слова: цианобактерии, бенгальский розовый, шунгит, кислород, численность, живые мертвые

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF BACTERIUM SYNECHOCYSTIS SP. PCC 6803 IN THE PRESENCE OF A TOXICANT AND A GROWTH PROMOTER IN A CULTURE MEDIUM

Dallakyan G.A., Ageeva I.V.

Moscow State University Lomonosov, Moscow, e-mail: honaris@bk.ru

The effect of singlet oxygen on the growth of the cyanobacterium *Synechocystis sp. PCC 6803* in environments enriched with shungite and rose bengal. Cyanobacteria growth is reduced in the presence of a photosensitizer. Disturbed redox balance of the medium. The degree of survival of a cell population depends on the concentration in the environment of shungite. The cyanobacteria culture grows better in the presence of 10 mg / l of shungite and, conversely, the growth of the culture decreases in the presence of Bengal pink without shungite in the medium of 5 mg / l. At the same time, shungite protects the growth of the culture from the toxic effects of the Bengal rose, when co-present in the culture medium. Compared with green algae, cyanobacteria are more susceptible to shungite, if 10g / l of shungite is enough to stimulate the growth of cyanobacteria, then for green algae 100g / l is needed. Cyanobacteria are 10 times more sensitive to shungite than green algae. It is shown that the specific activity of oxygen evolution per chlorophyll unit decreases under conditions when there is only a photosensitizer in the medium. The presence in the environment of shungite increases the specific activity of oxygen release of cyanobacteria. At the beginning of the stationary phase of growth, the percentage of dead cells is much greater under conditions when there is only Bengal pink in the medium. In the presence of 10g / l of shungite in the environment, the toxic effect of rose Bengal is inactivated and the number of dead cells becomes smaller. Thus, shungite, depending on the concentration, can stimulate the growth of cyanobacteria cells, inhibit their growth, or inactivate the action of the toxicant.

Keywords: Cyanobacteria, Bengal pink, shungite, oxygen, abundance, living dead

Для изучения таких важнейших биологических процессов, как азотфиксация, фотосинтез, исследование генома, влияние антропогенных факторов среды, используется хорошо приспособленная для исследования культура цианобактерии. С точки зрения резистентности к токсикантам, сравнительно малоизученным являющимся *Synechocystis sp.* Известно, что антропогенные факторы среды могут привести к нарушению авторегуляции механизмов формирования качества воды и самоочищения

водной среды. При этом важное значение имеет количественная корреляция активных форм кислорода (АФК). Работы, посвященные АФК, отличаются тем, что одни авторы в своих работах важную роль придают окислительно-восстановительному потенциалу среды и перекиси водорода [1], иные исследователи – синглетному кислороду или супероксидному радикалу [2]. Эти исследования не расходятся между собой, напротив, взаимодополняют наши представления о роли АФК. Состояния водной

среды в зависимости от экологической нагрузки антропогенного фактора, концентрации отдельных форм АФК в формировании качества воды становятся определяющими. Образование синглетного кислорода в водных экосистемах является следствием фотохимических реакций с участием фотосенсибилизаторов. Количество фотосенсибилизаторов в водоемах увеличивается за счет отходов химической, текстильной и нефтяной промышленности. Кроме непосредственного влияния синглетного кислорода на клеточную структуру популяции активированный кислород может изменять окислительно-восстановительный баланс водной среды. Показано, что синглетный кислород, реагируя с химическим составом среды, приводит его в более окисленное состояние, что способствует торможению роста культуры, т.е. питательные вещества становятся трудноусвояемыми для водорослей [3]. Токсические вещества, генерирующие АФК антропогенного и природного происхождения, приводят к экологическому стрессу и гибели водных организмов. Факторы среды, такие как температура воды, численность и видовой состав бактерии, а также количество фотосинтезирующих организмов в водоеме, являются определяющими для изменения концентрации АФК. Фотосенсибилизаторами природного происхождения являются хлорофиллы, фикобилины, порфирины, антибиотики, хинин, рибофлавин и промежуточные продукты их синтеза. Некоторые экзометаболиты, а также вещества, находящиеся в водной среде, вследствие лизиса клеток являются источником образования АФК. В настоящее время исследовано более тысячи соединений, генерирующих радикальные формы кислорода. Содержание АФК в водной среде увеличивается в результате попадания туда промышленных отходов, таких как отходы лакокрасочной, текстильной, фармакологической и косметической индустрии. При различных физико-химических условиях водной среды радикальные формы кислорода могут привести к летальному фотоокислению планктона или очистить сточные воды. Повреждающее действие синглетного кислорода на рост зеленых водорослей можно инактивировать шунгитом [3].

Цель исследования: изучить физиологические параметры роста цианобактерии *Synechocystis sp.* PCC 6803, в условиях культивирования с бенгальским розовым и шунгитом, по сравнению с зелеными водорослями *Scenedesmus quadricauda*; поиск новых, универсальных и экономически эффективных способов инактивации этих токсикантов.

Материалы и методы исследования

Биологическим объектом исследования были цианобактерии *Synechocystis sp.* PCC 6803, выращенные на среде BG 11 в конических колбах объемом 200 мл, при круглосуточном освещении 15 мкм кв. С⁻¹ м.⁻², температура среды 25 °С. Подсчет клеток проводили в камере Горяева. Концентрацию кислорода определяли на полярографе с закрытым платиновым электродом. Выделения кислорода на единицу хлорофилла (удельную активность) рассчитывали по ранее описанной методике. Спектр поглощения хлорофилла измеряли на спектрофотометре «Спекорд» UV-VIS. Для выделения хлорофилла использовали 90% ацетон. [4]. Процент живых и мертвых клеток в культуре измеряли на люминесцентном микроскопе Carl ZeissAxioscop 2 FS Plus. При облучении цианобактерии сине-фиолетовыми лучами получали видимое свечение объекта: мертвые клетки имели зеленое свечение, а живые клетки – ярко-красное. В качестве источника синглетного кислорода использовали фотосенсибилизатор бенгальский розовый (Б.Р) 5 мг/л. Ингибитором активных форм кислорода был шунгит в количестве 10 г/л. Фотосенсибилизатор и шунгит добавляли в культуральную среду на третий день роста цианобактерии. Результаты исследования обрабатывали статистически, в программе Microsoft Office Excel 2010. Для графического отображения полученных результатов рассчитывали доверительный интервал. Оценку статистической значимости различий контрольной и опытных выборок проводили при помощи критерия Стьюдента для уровня 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Первые фильтры для очистки воды на основе шунгита были созданы в 1995 г., при этом вода, пропущенная через шунгит, обладает благоприятным действием на организм человека. Известно, что природный композит шунгит в основном состоит из углерода. В шунгите Зажогинской породы Карелии обнаружены практически все элементы таблицы Менделеева, кальций, алюминий, железо, кремний, магний, фосфор калий, сера и др. В 1992 г. в шунгитах Карелии был обнаружен фуллерен [5]. Показано, что фуллерены могут влиять на биологические мембраны, их структуру, изменять активность мембранных ферментов. В то же время механизм влияния на биологические объекты фуллеренов зависит от многих факторов [6]. Токсичность, нейтральность или положительное действие водорастворимых фуллеренов на клеточном, ферментативном и организменном уровнях зависят от способов получения, чистоты этого соединения, концентрации, а также особых свойств водных сферических оболочек фуллеренов, являющихся одновременно донором и акцептором электронов [2, 6].

Продажа и реклама шунгита продолжает увеличиваться, в то же время исследование влияния этого соединения на биологиче-

ские объекты и на организм человека мало исследовано. Применение фуллеренов как в медицине, так и в научных исследованиях на биологические объекты, мало изучено в связи с их высокой стоимостью. Высокая цена фуллерена имела основное значение при выборе для наших исследований шунгита как возможного протектора от токсического действия синглетного кислорода на развитие гидробионтов, в то же время – это вещество в своей структуре содержит фуллерен. Фотохимические реакции с участием сенсibilизаторов в водоеме приводят к образованию АФК, в связи с этим в нашей работе был использован шунгит из Зажогинского месторождения, как возможного ингибитора радикальных форм кислорода.

Как видно из рис. 1, культура цианобактерии растет лучше в присутствии 10 мг/л шунгита по сравнению с контролем и наоборот, рост культуры снижается при наличии в среде 5 мг/л бенгальского розового. Одновременно шунгит защищает рост культуры от токсического воздействия БР при совместном присутствии в среде культивирования.

По сравнению с зелеными водорослями цианобактерии более чувствительны к шунгиту, и если 10 г/л шунгита достаточно для стимулирования роста цианобактерии, то для зеленых водорослей необходимо 100 г/л [3]. В специальных опытах было показано, что при концентрациях шунгита 200 г/л рост культуры зеленых водорос-

лей *Scenedesmus quadricauda*, подавляется в 2 раза. В более высоких концентрациях – 300 г/л шунгит тормозит рост практически полностью. В опытах с цианобактериями стимулирование роста культуры начинается с 1 г/л шунгита, более выражено при 10 г/л шунгита. Увеличение роста культуры цианобактерии на 7-й день роста по сравнению с контрольным в присутствии шунгита 10 г/л составляет 25%. Заметное торможение роста цианобактерии начинается с 30 г/л и составляет 35% процентов от роста контрольных проб. При более высоких концентрациях – 60 г/л шунгита рост культуры цианобактерии останавливается практически полностью. То есть цианобактерии в 10 раз чувствительнее к шунгиту, чем зеленые водоросли. Это очень важно учесть при использовании шунгита для очистки воды от высокой концентрации АФК. Культура *Scenedesmus quadricauda* в присутствии бенгальского розового 5 г/л окрашивается, что свидетельствует о проникновении красителя внутрь клеток. Таким образом при определенных концентрациях можно стимулировать рост одних видов и подавлять рост других видов микроорганизмов.

Как видно из рис. 2, в начале стационарной фазы на 15 сутки роста процент мертвых клеток намного больше (23%), когда в среде только бенгальский розовый 5 мг/л (4). Присутствие 10 г/л шунгита в среде, токсическое действие БР частично инактивируется (3).

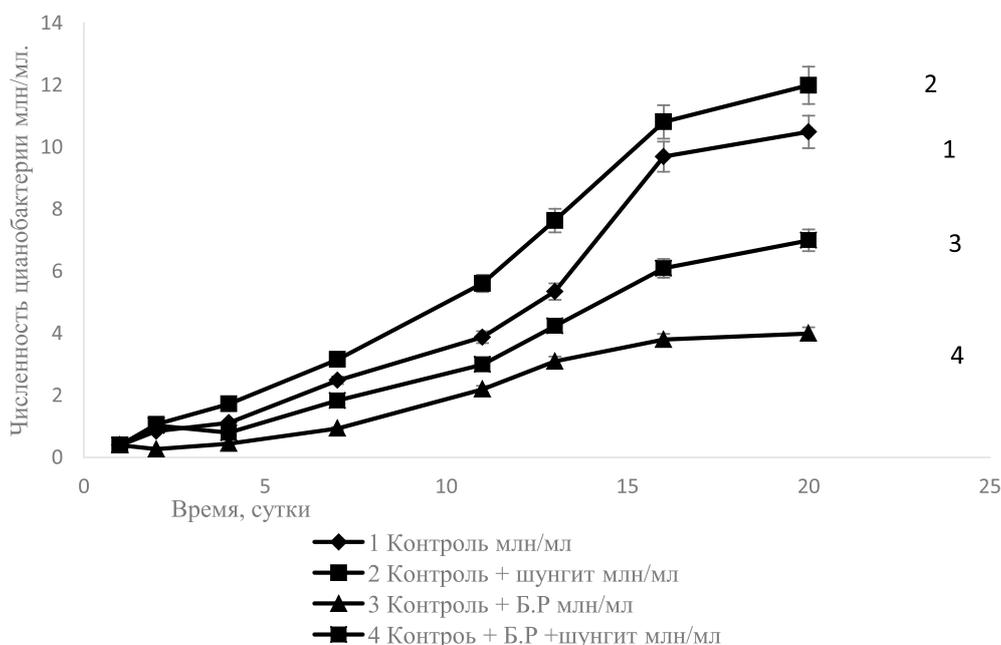


Рис. 1. Влияние бенгальского розового и шунгита на численность цианобактерии *Synechocystis sp. PCC 6803*

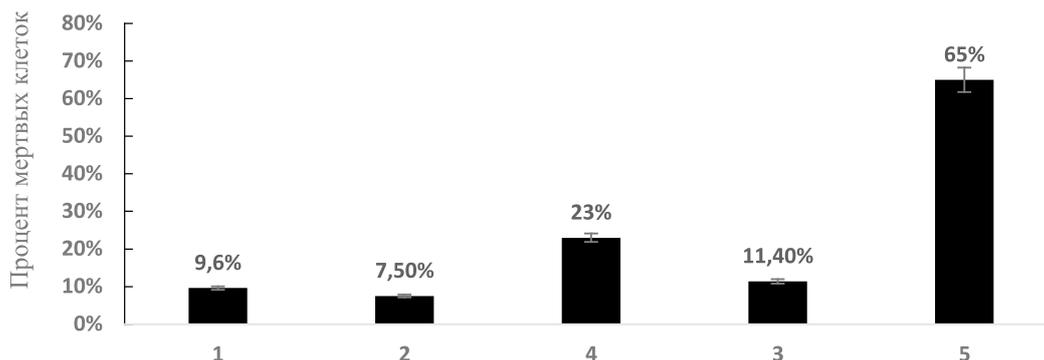


Рис. 2. Количество мертвых клеток цианобактерии в начале стационарной фазы роста с наличием бенгальского розового и шунгита в среде. 1. Контроль, 2. Контроль + шунгит 10 г/л, 3. Контроль + БР 5 г/л + шунгит 10 г/л, 4. Контроль + БР 5 г/л, 5. Контроль + шунгит 30 г/л

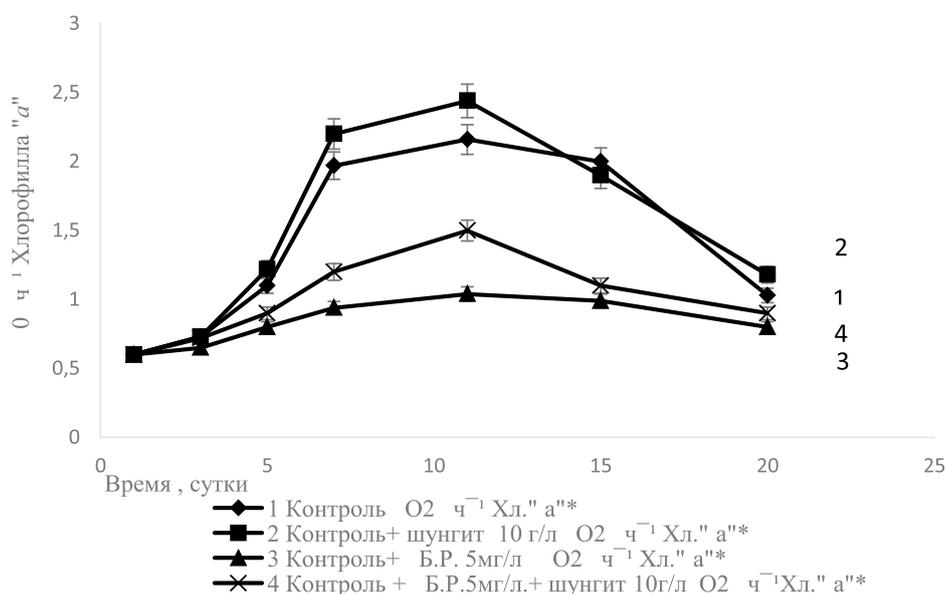


Рис. 3. Влияние бенгальского розового и шунгита на удельную активность выделения кислорода рассчитанного на единицу хлорофилла «а»

Наличие в среде 10 г/л шунгита уменьшает процент мертвых клеток цианобактерии до 7,5% рис. 2 (2), при 30 г/л шунгита число мертвых клеток увеличивается до 65% рис. 2. (5). Таким образом шунгит в зависимости от концентрации может стимулировать рост клеток цианобактерии, подавлять их рост, или инактивировать действие токсиканта.

В логарифмической фазе роста *Scenedesmus quadricauda* в присутствии бенгальского розового 5 г/л и шунгита в расчете 100 г/л наблюдали незначительное уменьшение количества делящихся клеток и увеличение количества клеток покоящихся, в вышеуказанных концентрациях шунгит частично инактивировал токсическое действие БР в культуре *Synechocystis sp.* при тех же ус-

ловиях культивирования в логарифмической фазе роста быстро возрастает количество мертвых клеток, а количество делящихся клеток резко падает. Количество покоящихся клеток в культуре *Synechocystis sp.* в процессе культивирования относительно постоянно, и если покоящиеся клетки *Scenedesmus quadricauda* могут превращаться в делящиеся в процессе восстановления культуры, то у *Synechocystis sp.* этого не наблюдалось. Как видно из рис. 3, удельная активность выделения кислорода популяции цианобактерии имеет схожую зависимость в аналогичном случае при влиянии бенгальского розового и шунгита на численность клеток (рис. 1).

Известно, что выделение кислорода на единицу хлорофилла отражает эффективность фотосинтеза. Можно с уверенностью

сказать, что изменение вышеуказанных физиологических параметров роста культуры является следствием повреждения фотосистемы культуры. В работе показано, что при больших концентрациях красителя синглетный кислород проникает в клетку и изменяет различные параметры фотосинтеза и редок-с потенциал среды. В концентрациях ниже 4 мг/л изменяет только частично редок-с потенциал среды. Таким образом в зависимости от концентрации шунгита в среде культивирования (а также от вида культуры) редок-с потенциал среды становится более благоприятным, что способствует стимулированию роста данного вида культуры и наоборот, при более высоких концентрациях тормозит рост этой культуры. В конечном итоге мы видим увеличение или торможение численности клеток, удельной активности выделения кислорода (рис. 1, 3).

Заключение

На основании полученных результатов показано, что концентрации шунгита для инактивации синглетного кислорода отличаются в 10 раз у водорослей и цианобактерии. Культура *Synechocystis sp.* более чувствительна к воздействию как шунгита, так и бенгальского розового. Большинство исследователей связывают механизм токсического, защитного или нейтрального действия шунгита на организменном уровне со свойством фуллеренов и количеством его содержания в шунгите. Полученные нами результаты согласуются с концепциями, изложенными в работах [2, 6].

Таким образом, на основании полученных наших и литературных данных, вопрос об использовании шунгита, как протектора токсикантов для очистки воды намного сложнее, чем это демонстрируют торгующие компании и некоторые исследователи. Резистентность к шунгиту у цианобактерии и водорослей отличается в 10 раз. Поэтому на вопрос, рост и развитие какого вида гидробионта мы хотим получить в водоеме, ответ будет разный.

С нашей точки зрения, без предварительного гидробиологического и гидрохимического анализов эти вопросы трудно решить.

Работа выполнена в рамках темы по госзаданию (№ ЦИТИС: АААА-А16-116021660054-4).

Список литературы

1. Пискарев И.М. Образование перекиси водорода в водных растворах под действием УФ-с излучения // Химия высоких энергий. 2018. № 3. С. 194–198.
2. Voeikov V.L., Vilenskaya N.D., Minh Ha Do, Malyshenko S.I., Buravleva E.V., Yablonskaya O.I., Timofeev K.N. The stable nonequilibrium state of bicarbonate aqueous systems. *Journal of Physical Chemistry A*. 2012. Т. 86. № 9. P. 1407–1415. DOI: 10.1134/S00360244120901.
3. Даллакян Г.А., Агеева И.В., Братковская Л.Б. Влияние шунгита на функциональную активность микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* // Вода: химия и экология. 2013. № 10. С. 102–106.
4. Даллакян Г.А., Погосян С.И., Ипатова В.И. Комбинированное действие шунгита и тяжелых металлов на развитие популяции микроводорослей // Биология внутренних вод. 2018. № 1. С. 107–112.
5. Buseck P.R., Tsipursky S.J., Hettich R. Fullerenes from the geological environment. *Science*. 1992. № 257 (5067). P. 215–217.
6. Andrievsky G.V., Bruskov V.I., Tykhomyrov A.A., Gudkov S.V. Peculiarities of the antioxidant and radioprotective effects of hydrated C60 fullerene nanostructures in vitro and in vivo. *Free Radical Biolo Med*. 2009. V. 47. P. 786–93.

УДК 597.2/5

БИОЛОГИЯ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЛОТВЫ (*RUTILUS RUTILUS* LINNAEUS, 1758) ОЗЕР КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

Дворянкин Г.А.

ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», Архангельск, e-mail: dga130157@gmail.com

Плотва является евроазиатским видом с очень широким ареалом. В наших водах она представлена подвидом *R. rutilus rutilus* (L., 1758) – обыкновенной плотвой. Эта озерно-речная стайная рыба получила широкое распространение в водоемах Архангельской области. На территории Кенозерского национального парка (КНП) встречается практически во всех исследованных водоемах, за исключением непроточных болотных озер. Плотва является одним из самых многочисленных видов рыб. Наряду с окунем она входит в так называемое ядро практически всех озерных ихтиоценозов национального парка. Являясь экологически пластичным видом, приспосабливается к разным условиям среды. В неблагоприятных условиях плотва резко замедляет темп роста, но не снижает своей численности. В КНП она имеет важное рыбохозяйственное значение. Доля плотвы в общем вылове промысловых видов рыб в водоемах КНП составляет 9–9,5%. В весенний период этот вид является одним из основных объектов любительского рыболовства на территории национального парка. Изучение биологии и экологии плотвы в настоящее время представляет особый интерес в связи с изменениями, происходящими в ихтиофауне Кенозерского национального парка. Увеличение численности карповых видов рыб (в том числе и плотвы) в водоемах КНП возможно связано с глобальными изменениями климата.

Ключевые слова: Кенозерский национальный парк, озера, плотва, биология, рыболовство, глобальные климатические изменения

BIOLOGY AND FISHERY VALUE OF ROACH (*RUTILUS RUTILUS* LINNAEUS, 1758) IN THE LAKES OF THE KENOZERESKY NATIONAL PARK

Dvoryankin G.A.

Federal State Institution Kenozero National Park, Arkhangelsk, e-mail: dga130157@gmail.com

A roach is an Eurasian species with a very wide range. In our waters it is represented by the subspecies *R. rutilus rutilus* (L., 1758), a common roach. Lake-river schooling fish is widely distributed in the water bodies of the Arkhangelsk region. On the territory of the Kenozersky National Park (KNP), it is found in almost all studied reservoirs, with the exception of bog lakes. Roach is one of the most numerous fish. Along with perch, it is part of the so-called core of almost all lake ichthyocenoses national park. Being an environmentally flexible species roach adapts to different environments. In unfavourable conditions the roach sharply slows down the growth rate, but does not reduce its numbers. In the KNP it is of great fishery value. Its share in the total catch of commercial fish species in Park waters is 9-9,5%. During the spawning season this species is one of the main objects of recreational fishing in the national park. The study of the biology and ecology of roach is nowadays of particular interest due to the changes occurring in the ichthyofauna of the Kenozersky National Park. The increase in the number of carp fish species (including roach) in the reservoirs of the Park is probably due to global climate change.

Keywords: Kenozersky National Park, озера, плотва, биология, fisheries, global climate change

Человечество вступило в XXI век под знаком быстро ухудшающихся природных условий. Дальнейшее планирование экономического и социального развития того или иного региона должно быть тесно увязано с решением экологических вопросов. От бесконтрольного использования биологических ресурсов необходимо переходить к стратегии рационального природопользования, направленной на сохранение и восстановление природной среды. Основным инструментом для поддержания биоразнообразия окружающей среды является создание сети особо охраняемых природных территорий. Одной из таких территорий является Кенозерский национальный парк. В перечень основных задач Парка входит сохранение уникального наследия природы, в том числе биоразнообразия местной ихтиофауны. Однако другой его важной за-

дачей является поддержание традиционных промыслов. Согласно ст. 15 Федерального закона «Об особо охраняемых природных территориях» ((п/п д), п. 1) «допускается осуществление деятельности, направленной на обеспечение... жизнедеятельности граждан, проживающих на территории национального парка» [1]. В связи с этим местное рыболовство следует рассматривать как важнейший элемент культурно-исторической среды КНП и экономического благополучия местных жителей. В настоящее время на территории национального парка находится 31 населенный пункт, где проживают на постоянной основе 1759 человек, и рыбные ресурсы являются для них одним из основных источников белковой пищи. Возникающая проблема решается в ходе проводимого на водоемах Парка рыбохозяйственного мониторинга, изучения

состояния и запасов промысловых видов рыб и выработке рекомендаций по их рациональному использованию.

Целью настоящего исследования является изучение биологических и экологических особенностей плотвы Кенозерского национального парка. Сравнительный анализ размерно-возрастных характеристик и репродуктивных особенностей популяций этого вида из водоемов с разными условиями среды обитания, состояние его запасов и рыбохозяйственное значение.

Материалы и методы исследования

Исследована плотва 5 мониторинговых озер Кенозерского национального парка – Лекшмозера, Кенозера, Наглимозера и оз. Масельского. Добыча плотвы в них составляет более 95% от общего вылова этого вида на территории КНП. Сбор фактического материала осуществлялся закидными неводами, ставными жаберными сетями с размером ячеи от 14 до 60 мм, стационарными ловушками венгерного типа, крючковыми снастями. Обработка ихтиологических проб проводилась в соответствии с общепринятой методикой [2, 3]. Номенклатура видов дана согласно определителю «Рыбы в заповедниках России» [4]. Возраст определялся по чешуе. Упитанность рассчитывалась по формуле Фультона и Кларк. Репродуктивные осо-

бенности самок изучались на IV, IV–V стадиях зрелости половых продуктов. Абсолютная плодовитость определялась весовым методом, относительная – количеством икринок на 1 г веса порки.

Всего за период исследований собрано и взято на полный биологический анализ 602 экз. плотвы, в том числе на плодовитость – 79 экз.

Результаты исследования и их обсуждение

Размеры плотвы в разных водоемах КНП значительно варьируют. Это связано в первую очередь с обеспеченностью пищей. Более крупная плотва обитает в Лекшмозере, где биомасса бентоса самая высокая среди мониторинговых озер. В уловах встречаются особи от 3 до 10 лет, размеры которых колеблются от 9 до 28 см длины (AD) и от 13 до 380 г массы соответственно. Модальная группа в выборке выражена хорошо и состоит из половозрелых особей в возрасте 6–7 лет средней длиной 17–20 см и массой 90–130 г. Доля доминирующей группы в уловах составляет 77% (табл. 1). Упитанность лекшмозерской плотвы с возрастом увеличивается с 1,53 до 1,85 по Фультону и от 1,35 до 1,53 по Кларк.

Таблица 1

Размерно-возрастная характеристика плотвы Лекшмозера

Возраст, г	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
3	10,9 ± 0,31	20 ± 1,9	8	2,5
4	12,3 ± 0,24	30 ± 1,8	16	4,9
5	15,8 ± 0,14	65 ± 2,2	36	11,1
6	17,9 ± 0,07	97 ± 1,5	138	42,6
7	19,6 ± 0,09	123 ± 2,2	112	34,6
8	23,1 ± 0,22	208 ± 5,7	12	3,7
9	25,0	289	1	0,3
10	27,5	380	1	0,3
Всего			324	100

Таблица 2

Размерно-возрастная характеристика плотвы Кенозера

Возраст, г	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
3	9,3 ± 0,14	12 ± 0,6	17	13,9
4	11,2 ± 0,15	20 ± 1,0	22	18,0
5	13,5 ± 0,11	42 ± 1,0	31	25,4
6	15,7 ± 0,11	71 ± 1,5	22	18,0
7	17,1 ± 0,19	90 ± 4,4	10	8,2
8	18,6 ± 0,13	123 ± 2,4	8	6,6
9	20,2 ± 0,19	165 ± 5,4	9	7,4
10	21,4 ± 0,15	197 ± 7,0	3	2,5
Всего			122	100

Таблица 3

Размерно-возрастная характеристика плотвы Наглимозера

Возраст, г	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
4	10,7	18	1	1,8
5	13,1 ± 0,10	38 ± 3,5	2	3,5
6	14,4 ± 0,11	49 ± 1,5	15	26,3
7	16,3 ± 0,15	75 ± 2,4	23	40,4
8	17,8 ± 0,18	89 ± 4,2	10	17,5
9	18,9 ± 0,15	117 ± 5,1	6	10,5
Всего			57	100

Таблица 4

Размерно-возрастная характеристика плотвы оз. Масельского

Возраст, г	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
4	11,2 ± 0,13	24 ± 1,3	4	4
5	14,0 ± 1,55	45 ± 12,5	2	2
6	15,1 ± 1,64	65 ± 27,1	4	4
7	15,5 ± 0,19	61 ± 2,9	16	16
8	17,0 ± 0,24	86 ± 4,1	29	29
9	17,3 ± 0,37	96 ± 7,4	21	21
10	17,9 ± 0,34	101 ± 8,9	12	12
11	19,0 ± 0,86	131 ± 23,6	7	7
12	19,5 ± 0,5	136 ± 0,5	2	2
13	21,0	170	1	1
16	25,5	328	1	1
Всего			99	100

В Кенозере с невысокими показателями кормовой базы (бентоса) плотва имеет более низкие линейно-весовые характеристики. В любительских и научных уловах доминируют рыбы в возрасте 4–6 лет средней длиной 13–18 см и массой 40–100 г, которые составляют более 60% выборки (табл. 2). Упитанность кенозерской плотвы также увеличивается с возрастом от 1,5 до 1,99 по Фульгону и от 1,32 до 1,67 по Кларк, и в целом она несколько выше, чем в Лекшмозере.

Плотва Наглимозера характеризуется еще более замедленным ростом (биомасса бентоса здесь ниже, чем в Кенозере). В контрольных уловах она представлена рыбами от 4 до 9 лет и размерами от 10,8 до 19,4 см длиной и массой от 18 до 136 г соответственно. Модальная группа в выборке выражена достаточно хорошо. Особи в возрасте 6+ – 7+ лет, длиной 14–17 см составляют 67% улова (табл. 3). Упитанность увеличивается с возрастом от 1,47 до 1,72 по Фульгону и от 1,39 до 1,48 по Кларк.

Самой тугорослой является плотва из оз. Масельского (здесь также низкая кормовая база). В уловах доминируют рыбы средней длиной 15–18 см и массой 60–110 г в возрасте 7–10 лет (табл. 4). При этом упитан-

ность местной плотвы сравнима с плотвой из других водоемов и с возрастом практически не коррелирует, колеблясь в пределах 1,60–1,98 по Фульгону и 1,39–1,65 по Кларк.

Сравнительные данные по линейному росту плотвы из разных водоемов национального парка показаны на рисунке.

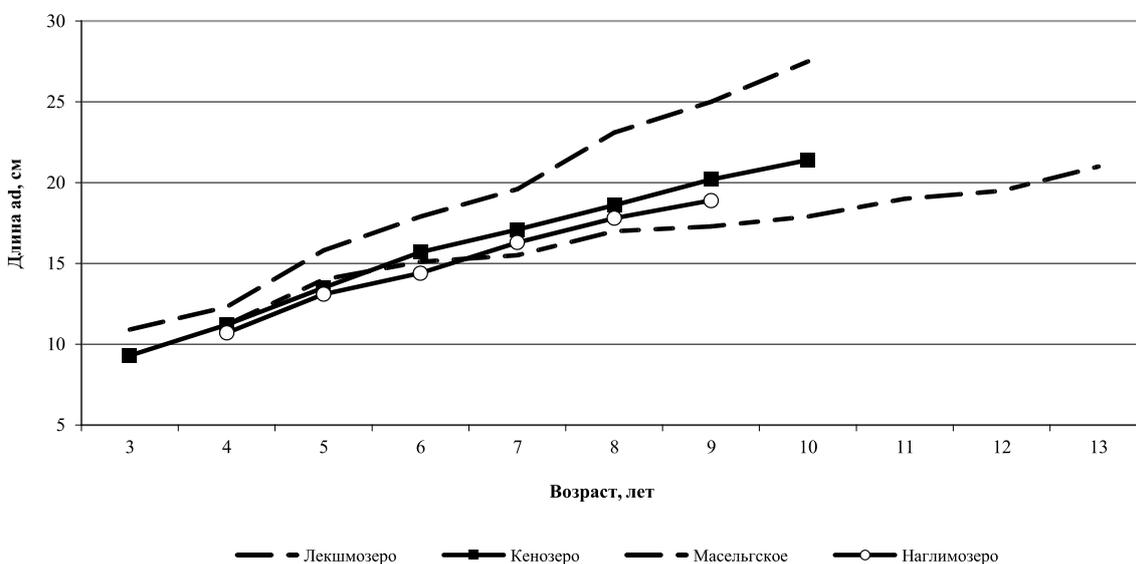
Половой зрелости плотва в озерах КНП достигает на 3–4 году жизни (самки на год позже). Нерест проходит достаточно бурно во второй половине мая в прибрежной зоне озер и на разливах с прошлогодней растительностью. Икра клейкая, бледно-желтого цвета, развивается в течение 10–14 дней. Выклюнувшиеся личинки через 2–3 дня переходят на активное питание [4]. Популяции плотвы в Лекшмозере и Кенозере отличаются друг от друга репродуктивными характеристиками. Так, абсолютная плодовитость лекшмозерской плотвы составляет от 6,6 тыс. икринок у 5-годовиков до 21 тыс. икринок у рыб в возрасте 8 лет. Плодовитость плотвы Кенозера ниже и колеблется от 4,7 до 12,3 тыс. икринок у особей того же возраста (табл. 5, 6). Интересно, что относительная плодовитость кенозерской плотвы с возрастом уменьшается со 135 до 96 икринок на 1 г массы, в отличие от Лекшмозера,

где относительная плодовитость самок этого вида увеличивается от 117 до 141 икринки. Коэффициент половой зрелости у плотвы Кенозера с возрастом также уменьшается от 13,4 до 10,1%. У лекшмозерской плотвы он увеличивается от 11,7 до 18,2%.

Основу нерестового стада в обеих популяциях составляют половозрелые неоднократно нерестившиеся рыбы в возрасте 5–7 лет. В уловах везде преобладают самки. Соотношение самцов и самок колеблется от 1:4 в Лекшмозере до 1:10 в Наглимозере. При этом в старших возрастных группах встречаются практически одни самки.

В связи с многочисленностью плотва является объектом любительского рыбо-

ловства на всех исследованных озерах Кенозерского национального парка, несмотря на невысокую пищевую ценность. В озерах Лекшмозере и Кенозере в весенний период ведется ее специализированный сетной лов на нерестовых скоплениях. В это время плотва становится одним из основных объектов рыболовства. Абсолютные и относительные показатели вылова плотвы за последние 10–15 лет в самых больших водоемах выросли. Если в Кенозере 2002–2007 гг. ежегодно добывалось 5–6 т этой рыбы, что составляло примерно 5% от общего вылова [5], то в 2017–2018 гг. эти показатели составили 8–9 т и 9–9,5% соответственно.



Линейный рост плотвы из разных водоемов КНП

Таблица 5

Репродуктивная характеристика плотвы Лекшмозера

Возраст, г	Абсолютная плодовитость		Относительная плодовитость, шт.	Коэффициент зрелости, %	Исслед. рыб, экз.
	среднее	колебания			
5	6594	6181–7006	117	11,7	2
6	9499	6092–11587	121	14,7	20
7	12137	9240–20580	127	15,7	30
8	21000	–	141	18,2	1

Таблица 6

Репродуктивная характеристика плотвы Кенозера

Возраст, г	Абсолютная плодовитость		Относительная плодовитость, шт.	Коэффициент зрелости, %	Исслед. рыб, экз.
	среднее	колебания			
5	4695	3744–5650	135	13,4	16
6	7373	6100–9102	123	12,4	8
8	12305	–	126	12,4	1
10	13950	–	96	10,1	1

Выводы

Плотва является одним из самых распространенных видов рыб Кенозерского национального парка, где встречается практически во всех исследованных озерах кроме небольших изолированных болотных озер. Это также одна из самых многочисленных рыб Парка. В большинстве озер плотва входит в так называемое «ядро» местных ихтиоценозов. Состояние популяций плотвы в этих водоемах оценивается как удовлетворительное, ее добыча не оказывает существенного влияния на численность вида. Размерно-возрастные показатели популяций плотвы из разных озер отличаются друг от друга. Ее биологические характеристики зависят от кормовой базы водоема. При более высокой обеспеченности пищей рыба быстрее растет и имеет более высокую плодовитость.

Плотва является важным объектом любительского рыболовства, играющим значительную роль в снабжении местного на-

селения свежей белковой пищей. В связи с увеличением численности плотвы необходимо дальнейшее изучение этого вида для выяснения причин такого явления и прогнозирования возможных последствий для рыбной части сообществ водоемов Кенозерского национального парка.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» (с изменениями на 3 августа 2018 года) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9010833> (дата обращения: 23.11.2018).
2. Мирошникова Е.П. Общая ихтиология: практикум. ОГУ, 2011. 107 с.
3. Мирошникова Е.П. Частная ихтиология: практикум // ОГУ. 2011. 184 с.
4. Рыбы в заповедниках России. Пресноводные. М.: КМК, 2010. Т. 1. 627 с.
5. Дворянkin Г.А., Козьмин А.К., Кулида С.В. Рыбохозяйственное значение крупных озер Кенозерского национального парка: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Рациональное использование пресноводных экосистем». Московская обл. Ногинский район, пос. им. Воровского, 2007. С. 51–53.

УДК 57.085.2:636.2

МЕХАНИЗМЫ РАСПЛАСТЫВАНИЯ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**Ковалева А.В., Творогова А.В., Саидова А.А.***ФГБНУ «Центр экспериментальной эмбриологии и репродуктивных биотехнологий», Москва, e-mail: s.n.kovalchuk@mail.ru*

В настоящее время для регенерации поврежденных тканей все шире используются мезенхимальные стволовые клетки. Способность к прикреплению и распластыванию на субстрате является фундаментальным свойством клеток, влияющим на процессы развития, органогенеза и гомеостаза организма. Распластывание клеток происходит, когда клетки прикрепляются к адгезивному субстрату за счет выдвигания тонкой ламеллиподии. Мы проанализировали процесс распластывания мезенхимальных стволовых клеток, используя виртуальную синхронизацию начала распластывания. Распластывание мезенхимальных стволовых клеток крупного рогатого скота (МСК КРС) – это нелинейный процесс, который включает в себя быструю фазу (0–10 минут) и медленную фазу распластывания (30 минут – 3 часа). В первые десять минут клетки увеличивают свою площадь в 2–4 раза, а абсолютная начальная скорость распластывания уменьшается в 6,5 раз. Распластывание существенно замедляется при подавлении роста микротрубочек. В меньшей степени процесс распластывания замедляется при ингибировании полимеризации актина. При этом нарушение полимеризации микрофиламентов способствует изменению морфологии клеток. Таким образом, динамические микротрубочки являются основным регулятором распластывания мезенхимальных стволовых клеток крупного рогатого скота.

Ключевые слова: мезенхимальные стволовые клетки, актин, микротрубочки, распластывание**SPREADING MECHANISMS OF CATTLE MESHENYMAL STEM CELL****Kovaleva A.V., Tvorogova A.V., Saidova A.A.***Federal state budget scientific institution Center of experimental embryology and reproductive biotechnologies, Moscow, e-mail: s.n.kovalchuk@mail.ru*

Currently, mesenchymal stem cells are increasingly used for regeneration of damaged tissues. The ability to attach and spread on the substrate is a fundamental property of cells that affects the development, organogenesis and homeostasis of an organism. Spreading of cells occurs when cells attach to an adhesive substrate by protrusion of a thin lamellipodium. We analyzed the process of spreading mesenchymal stem cells using virtual synchronization of the start of spreading. Spreading of bovine mesenchymal stem cells (bovine MSCs) is a non-linear process that includes a fast phase (0-10 minutes) and a slow spreading phase (30 minutes – 3 hours). In the first ten minutes, the cells increase their area by 2–4 times, and the absolute initial spreading rate decreases by a factor of 6.5. Spreading of MSCs is important to slow down when microtubule growth is suppressed. Down the extent of the spreading process slows down when inhibiting actin polymerization. In this case, the perturbation of the polymerization of microfilaments promotes changes in cell morphology. Thus, dynamic microtubules are the main regulator of the spreading for bovine mesenchymal stem cells.

Keywords: mesenchymal stem cells, actin, microtubules, spreading

Способность к прикреплению и распластыванию на субстрате – фундаментальное свойство клеток, влияющее на процессы развития, органогенеза и гомеостаза организма. Нарушения этих процессов влияют на скорость регенерации поврежденных тканей, иммунного ответа организма, а кроме того могут быть причиной развития опухолей [1].

В ранних работах показано, что процесс распластывания клеток на субстрате имеет линейную динамику [2], что может быть объяснено асинхронностью начала распластывания в разных клетках и гетерогенностью популяции по стадиям распластывания. Синхронизация клеток по началу распластывания позволила выявить нелинейность этого процесса. В нем выделяют 3 фазы: прикрепления (P0), быстрого распластывания (P1) и медленного

распластывания с дальнейшей поляризацией (P2) [3]. Первая фаза распластывания достаточно короткая, её продолжительность составляет всего несколько минут и зависит от степени адгезивности субстрата и присутствия сыворотки в среде культивирования [4]. Вторая стадия также непродолжительна, характеризуется быстрым ростом площади клетки за счет образования значительных по размерам протрузий и незначительных ретракций [5]. Третья стадия является самой продолжительной и характеризуется медленным ростом средней площади клетки, ее периодическими значительными сокращениями, а также образованием стабильных клеточных адгезий.

Распластывание клеток на субстрате начинается с выдвигания коротких плоских выростов плазматической мембраны – ла-

меллиподий – и зависит от скорости полимеризации актина на краю клетки [6]. Быстро увеличив свою площадь на первых стадиях распластывания, клетка поляризуется за счет формирования актомиозиновых комплексов и их сокращения [7]. Таким образом, роль актина и актомиозиновых комплексов на ранних этапах распластывания является ведущей и подтверждается в опытах с использованием их селективных ингибиторов. Латранкулин А, связываясь с мономерным актином, предотвращает его полимеризацию. Разрушение пучков актина с помощью цитохалазина D или латранкулина В приводит к потере способности клетки к поляризации, движению и перероентации при изменении направления растяжения субстрата [8].

Микротрубочки также играют существенную роль в распластывании, поляризации и последующем движении клеток. Так, растущие микротрубочки на краю клеток стимулируют формирование ламеллиподий [9]. Деполимеризация микротрубочек в распластаных и распластывающихся клетках приводит к усилению актомиозинового сокращения [10] и гипертрофии стресс-фибрилл в клетках. К таким же последствиям приводит не только полная разборка микротрубочек, но и подавление их динамической нестабильности [11]. Динамические микротрубочки в движущихся клетках стимулируют разборку фокальных контактов [12], подавляя актомиозиновое сокращение. Таким образом, различные элементы цитоскелета обеспечивают прикрепление, распластывание и передвижение клеток по субстрату, а динамика этих процессов определяется взаимодействием системы микротрубочек и актиновых филаментов.

В настоящее время для регенерации поврежденных тканей все шире используются мезенхимальные стволовые клетки. Их культивирование и дифференцировка проводятся *in vitro*. Известно также, что при ряде патологических состояний наблюдаются повреждения цитоскелета и его функциональные нарушения в клетках. В связи с этим важно определить динамические свойства разных компонентов цитоскелета в распространенной *in vitro* модели культивирования нормальных мезенхимальных стволовых клеток КРС для разработки экспериментальных и клинических моделей заболеваний, связанных с патологиями цитоскелета.

Цель исследования: анализ процесса прикрепления и распластывания мезенхимальных стволовых клеток КРС в нормальных условиях и в условиях нарушений

цитоскелета под действием селективных ингибиторов.

Материалы и методы исследования

Культура клеток

Мезенхимальные стволовые клетки крупного рогатого скота (МСК КРС) 5–7 пассажей (получены из банка Центра экспериментальной эмбриологии и репродуктивных биотехнологий, Москва, Россия) культивировали при 37 °С в атмосфере 5% CO₂, в среде DMEM/F12(1:1) с добавлением 10% телячьей эмбриональной сыворотки (ПанЭко, Россия), гентамицина в концентрации 0,09 мг/мл, 2,5 мкг/мл амфотерицина В и 2 мМ глутамин. Для детального анализа распластывания полученную при помощи раствора трипсин-ЭДТА (ПанЭко, Россия) суспензию клеток помещали в чашки Петри. Концентрацию клеток подбирали таким образом, чтобы в ходе распластывания соседние клетки не контактировали. Прижизненные наблюдения вели при помощи системы Nikon BioStation IM-Q, изображения записывались с интервалом 1 минута в течение 3,5 часов.

Ингибиторы

Для деполимеризации микротрубочек (MT) использовали нокодазол (Sigma-Aldrich, USA) в концентрации 1 мкМ. Для стабилизации MT использовали 1 мкМ паклитаксела (таксол) (Sigma-Aldrich, USA). Для ингибирования полимеризации актина клетки инкубировали с 30 нМ цитохалазином D (Sigma-Aldrich, США) или 200 нМ латранкулином Б (Sigma-Aldrich, США). Ингибитором Rho-ассоциированной киназы (ROCK) являлся 10 мкМ Y-27632 (Sigma-Aldrich, США).

Флуоресцентная микроскопия

Клетки фиксировали 2.5% раствором глutarового альдегида на PBS (pH = 7,2) при +4 °С в течение 20 минут, трижды отмывали PBS и проводили пермеабиллизацию клеток смесью 0,01% Triton-X114 и 0.01% Tween-20 на PBS в течение 60 минут при комнатной температуре. После трехкратной отмытки буфером клетки обрабатывали 1% раствором боргидрида натрия. Затем клетки окрашивали первыми антителами к α -тубулину (клон DM1A, Invitrogen, США) в соотношении 1:150 при температуре 37 °С 60 минут и вторыми антителами, конъюгированными с флуоресцентным красителем Cy-2 (Invitrogen, США). Затем клетки окрашивали с помощью ActinReadyProbes 555 (Invitrogen, Thermo Fisher Scientific, США) 30 минут при комнатной температуре, для контрастирования ядер использовали флуоресцентный краситель DAPI (разведение 1:500, окрашивание в течение 10 минут при комнатной температуре). Препараты заключали в мовиол и производили съемку на инвертированном флуоресцентном микроскопе NikonEclipseTI (Nikon, Япония) с помощью фазовоконтрастного объектива планапохромат 60x/1.4 (Nikon, Япония), используя кубики светофильтров для FITC, DAPI и Texas Red. Изображения записывались на компьютер с помощью охлаждаемой КМОП камеры ORCAFlash 4.2 (Hamamatsu, Япония), управляемой программой MicroManager.

Анализ данных

Обработку и анализ полученных фильмов производили в программе ImageJ (NIH Image, США).

Скорость распластывания рассчитывали как скорость увеличения площади клеток в единицу времени. Статистический анализ производили в программе SigmaPlot 3.0 (Jandel Scientific, США). Окончательную обработку изображений проводили в программе Photoshop CS (Adobe Inc., США).

Результаты исследования и их обсуждение

Распластывание – это нелинейный процесс

Для описания поведения МСК КРС при распластывании были построены кривые кинетики распластывания. Распластывание клеток на субстрате может идти двумя путями: изотропно и анизотропно. Изотропное распластывание характеризуется быстрым образованием симметричной кольцевой ламеллы, тогда как при анизотропном распластывании происходит одновременное формирование нескольких ламелл, и весь процесс идет медленнее. Для большинства МСК КРС характерно анизотропное распластывание, в некоторых клетках распластывание было изотропным.

Кинетика распластывания МСК может быть описана в виде сигмовидной кривой. Начальная скорость распластывания была максимальной в первые 10 минут (фаза P1) (рис. 1, табл. 1). Дальнейшее распластывание (фаза P2) проходило медленнее, и в конце первого часа общая площадь кле-

ток увеличилась в $6,21 \pm 0,82$ раз по сравнению с начальными значениями (табл. 2). Далее, скорость распластывания продолжала снижаться, в то время как некоторые клетки частично поджимались. Площадь клеток к концу третьего часа увеличилась в $10,16 \pm 1,62$ раз относительно начальной площади (рис. 2).

Распластывание сопровождалось изменениями морфологии клеток. В момент прикрепления круглые клетки имели ровный контур (рис. 3), к третьему часу края клеток становились изрезанными. После детального анализа кинетики и морфологии распластывания МСК мы перешли к описанию цитоскелета. Для анализа роли МТ мы использовали 3 воздействия: полную деполимеризацию МТ в высокой концентрации нокодазола (1 мкМ), полную стабилизацию МТ в высокой концентрации паклитаксела (1 мкМ) и подавление динамической нестабильности МТ сочетанием наномолярных доз нокодазола и паклитаксела. Для анализа роли актина в распластывании МСК мы использовали ингибиторы полимеризации актина (30 нМ цитохалазин Д и 200 нМ латрункулин Б). Для анализа роли миозина II мы ингибировали миозин II-фосфорилирующую киназу ROCK специфическим ингибитором Y-27632 в концентрации 10 мкМ.

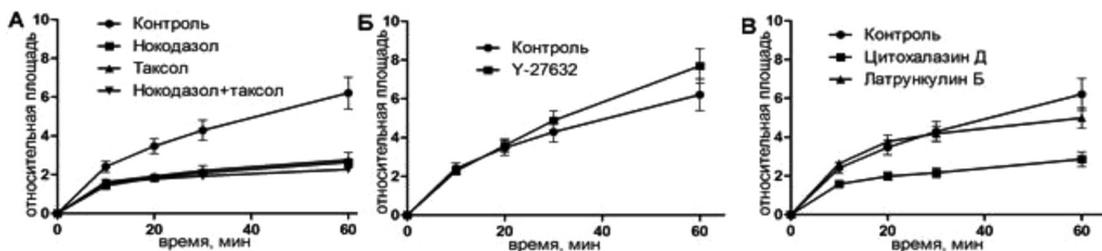


Рис. 1. Кинетика распластывания МСК КРС в контроле и при воздействии ингибиторов цитоскелета в интервале 0–60 минут

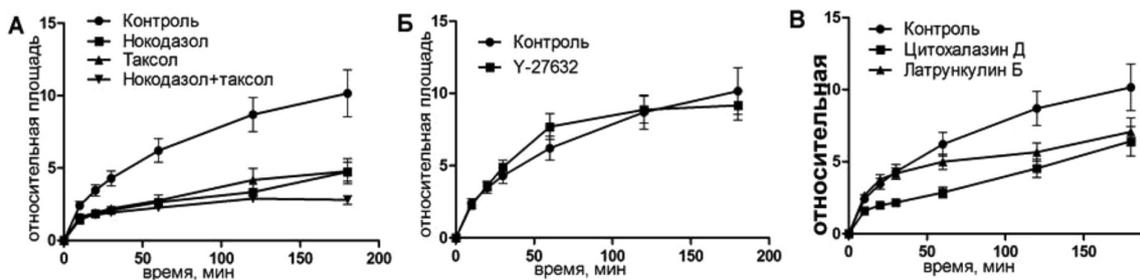


Рис. 2. Кинетика распластывания МСК КРС в контроле и при воздействии ингибиторов цитоскелета в интервале 0–180 минут

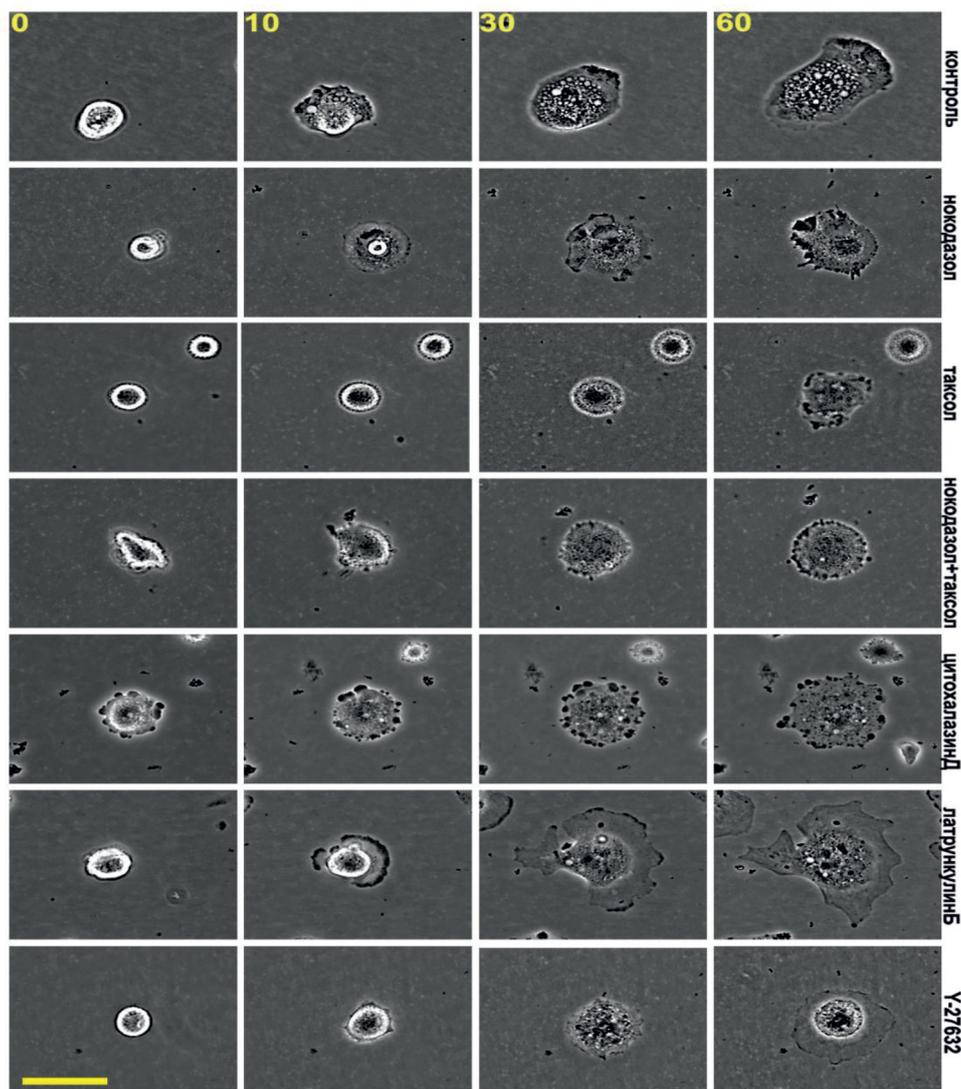


Рис. 3. Распластывание мезенхимальных стволовых клеток в норме и в присутствии ингибиторов цитоскелета. Масштабный отрезок – 10 мкм

Распластывание МСК при деполимеризации МТ

Клетки с деполимеризованными МТ были круглыми, распастывание сопровождалось активным блеббингом. Некоторые клетки так и не начали распастываться в течение всего времени (3,5 ч). Распастывание начиналось с образования небольших псевдоподий, которые сплющивались при прикреплении, а затем образовывали небольшие пластинки. Блеббинг не прекращался после образования ламеллы и продолжался в течение 1–3 ч (рис. 3). Процесс распастывания клеток с разрушенными МТ всегда был анизотропным и мог быть описан линейной зависимостью (рис. 2). Распастывание клеток проходило медленнее относительно контроля. К концу

первого часа площадь клеток увеличилась в $2,64 \pm 0,19$ раз, а к концу третьего часа в $4,74 \pm 0,65$. Кроме того, площадь клеток под воздействием нокодазола была меньше в любой временной точке относительно контроля (табл. 2).

Таким образом, полная деполимеризация МТ приводит к возникновению блеббинга, который сопровождается выдвиганием ламеллы, замедлению распастывания и отсутствию клеток с широкими ламеллами и к исчезновению быстрой фазы распастывания. Поскольку многие эффекты, связанные с отсутствием МТ, могут происходить и в случае стабилизации МТ, мы дополнительно оценивали поведение клеток после стабилизации МТ высокими дозами паклитаксела.

Таблица 1

Скорость распластывания МСК КРС

Скорость (мкм ² /мин)	Временной интервал, мин					
	0–10	10–20	20–30	30–60	60–120	120–180
Контроль	181 ± 24	137 ± 21	105 ± 27	82 ± 18	51 ± 16	28 ± 18
ЦитохалазинД	111 ± 19	78 ± 17	34 ± 9	45 ± 9	54 ± 10	56 ± 16
ЛатрункулинБ	242 ± 24	165 ± 26	60 ± 21	39 ± 12	17 ± 5	7 ± 9
У-27632	190 ± 20	199 ± 27	194 ± 29	141 ± 26	29 ± 4	11 ± 5
Нокодазол	56 ± 7	41 ± 9	32 ± 5	23 ± 3	15 ± 3	30 ± 10
Таксол	87 ± 13	42 ± 9	40 ± 9	25 ± 7	33 ± 12	14 ± 5
Нокодазол + таксол	96 ± 17	33 ± 6	26 ± 5	18 ± 3	17 ± 4	3 ± 3

Распластывание МСК в условиях стабилизации МТ

При полной стабилизации МТ блеббинг начинается еще до момента прикрепления клеток и продолжается в течение всех 3,5 часов наблюдения (рис. 3). Клетки начинают распластываться изотропно, но кривая распластывания описывается линейной зависимостью (рис. 2). Через 60 минут площадь клеток увеличивается в $2,76 \pm 0,39$ раз. К концу третьего часа площадь клеток увеличивается в $4,78 \pm 0,86$ раз относительно площади в момент прикрепления. Площадь клеток под воздействием паклитаксела всегда ниже, чем в контроле (табл. 2). Скорость распластывания клеток со стабильными МТ всегда ниже, чем в контроле, однако статистически достоверно отличаются скорости только в течение первого часа распластывания (табл. 1).

Таким образом, полная стабилизация МТ приводит к возникновению блеббинга, который сопровождает распластывание в течение всего времени наблюдения, значительному замедлению процесса распластывания и уменьшению площади клеток.

Поскольку выдвигание ламеллы главным образом связано с работой актомиозинового комплекса, далее мы проанализировали процесс распластывания мезенхимальных стволовых клеток при нарушении активации миозина II и при ингибировании полимеризации актина наномолярными дозами цитохалазина Д и латрункулина Б.

Распластывание в условиях подавления миозин II-зависимого каскада

В присутствии У-27632 клетки демонстрировали нормальную кинетику распластывания в течение всего времени наблюдения. Распластывание происходило за счет формирования протрузий в нескольких направлениях, поэтому ламелла была изрезанной и рассеченной, а клетки к 3 часу приобретали звездчатую форму с многочис-

ленными выступами, которые продолжали удлиняться.

Кинетика распластывания для всех трех фаз: P0, P1 и P2 – была почти одинаковой для клеток в присутствии У-27632 и контрольных клеток во все моменты времени (рис. 2). Под воздействием ингибитора края клеток становились более изрезанными (через 3 ч значение округлости составляло $0,55 \pm 0,05$).

Таким образом, при ингибировании миозина II происходят значительные изменения в морфологии клеток. В связи с тем, что кинетика распластывания под воздействием У-27632 не изменяется, мы дополнительно оценивали поведение клеток при подавлении полимеризации актина цитохалазином Д и латрункулином Б в наномолярных концентрациях.

Процесс распластывания при нарушении полимеризации актина

Под воздействием цитохалазина Д распластывание сопровождается активным блеббингом, который начинается до прикрепления клеток к субстрату и продолжается в течение всего времени наблюдения. В момент прикрепления клетки имеют круглую форму, но к концу первого часа клетки имеют несколько зон активности (рис. 3). Кинетика распластывания описывается нелинейно, клетки распластывались с максимальной скоростью в первые 10 минут (рис. 1, табл. 1). К концу первого часа площадь клеток увеличилась в $2,86 \pm 0,37$ раз. Через 3 часа площадь клеток увеличилась в $6,42 \pm 1,03$ раза относительно начального значения.

Под воздействием латрункулина Б блеббинг появлялся с момента прикрепления, но к концу первого часа пузырей становилось меньше. Распластывание шло анизотропно за счет образования нескольких ламелл. Через 20 минут клетки имели значительно более изрезанный контур по сравнению с контролем, за счет образования вогнутых участков (округлость $0,74 \pm 0,03$). В ходе дальнейшего распластывания вогнутые

участки были стабильными, а ламелла продолжала выдвигаться, что способствовало увеличению изрезанности ламеллы (округлость к концу первого часа – $0,64 \pm 0,04$) (рис. 3). Таким образом, ингибирование полимеризации актина цитохалазином Д замедляет процесс распластывания и изменяет морфологию клеток. Ингибирование полимеризации актина латрункулином Б значительно влияет на морфологию клеток

и замедляет распластывание клеток в часовом интервале.

Морфология систем цитоскелета в контрольных клетках

В контрольных клетках уже через 10 минут после прикрепления начинают полимеризоваться МТ (рис. 4). Актин тонкой полосой окаймляет клеточную ламеллу, а также распределен по всей цитоплазме (рис. 4).

Таблица 2

Изменение площади МСК КРС в процессе распластывания

Площадь, мкм ²	Временная точка, мин						
	0	10	20	30	60	120	180
Контроль	524 ± 73	1263 ± 151	1820 ± 204	2250 ± 269	3259 ± 430	4565 ± 620	5329 ± 851
Цитохалазин Д	788 ± 79	1243 ± 110	1563 ± 164	1701 ± 194	2253 ± 290	3571 ± 499	5058 ± 808
Латрункулин Б	599 ± 41	1583 ± 113	2256 ± 204	2501 ± 225	2986 ± 317	3387 ± 389	4236 ± 578
У-27632	611 ± 52	1384 ± 107	2193 ± 205	2984 ± 308	4705 ± 544	5417 ± 569	5602 ± 625
Нокодазол	529 ± 37	759 ± 53	971 ± 69	1104 ± 80	1396 ± 101	1765 ± 151	2507 ± 345
Таксол	572 ± 44	926 ± 83	1100 ± 109	1263 ± 145	1576 ± 220	2389 ± 452	2734 ± 489
Нокодазол + таксол	686 ± 65	1079 ± 116	1215 ± 112	1323 ± 117	1554 ± 127	1982 ± 192	1930 ± 202

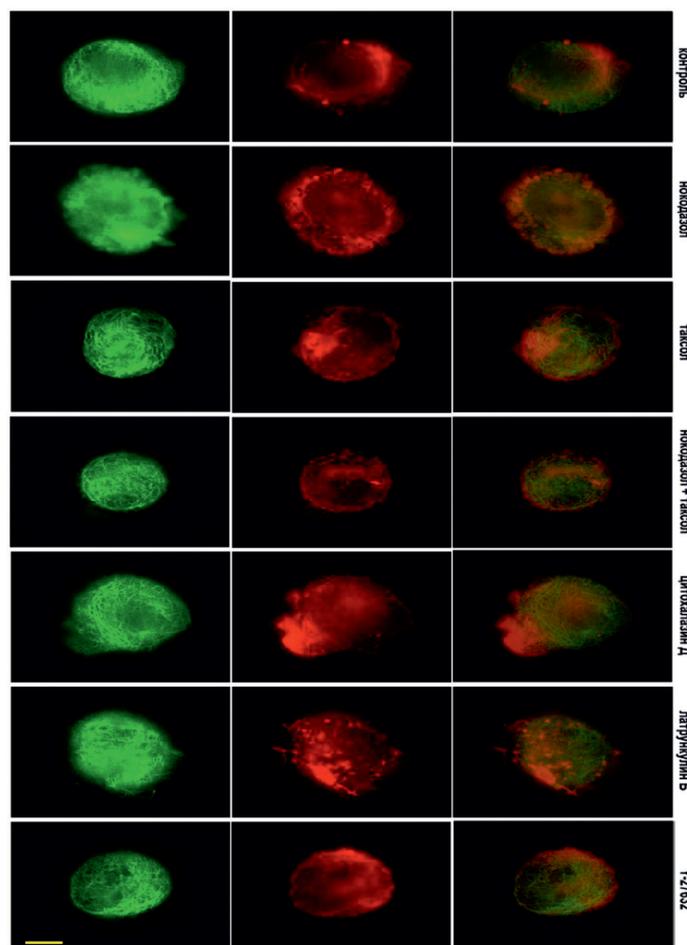


Рис. 4. Микротрубочки (зеленые) и актин (красный) через 10 мин после прикрепления клеток к субстрату в норме и при ингибировании цитоскелета. Масштабный отрезок – 10 мкм

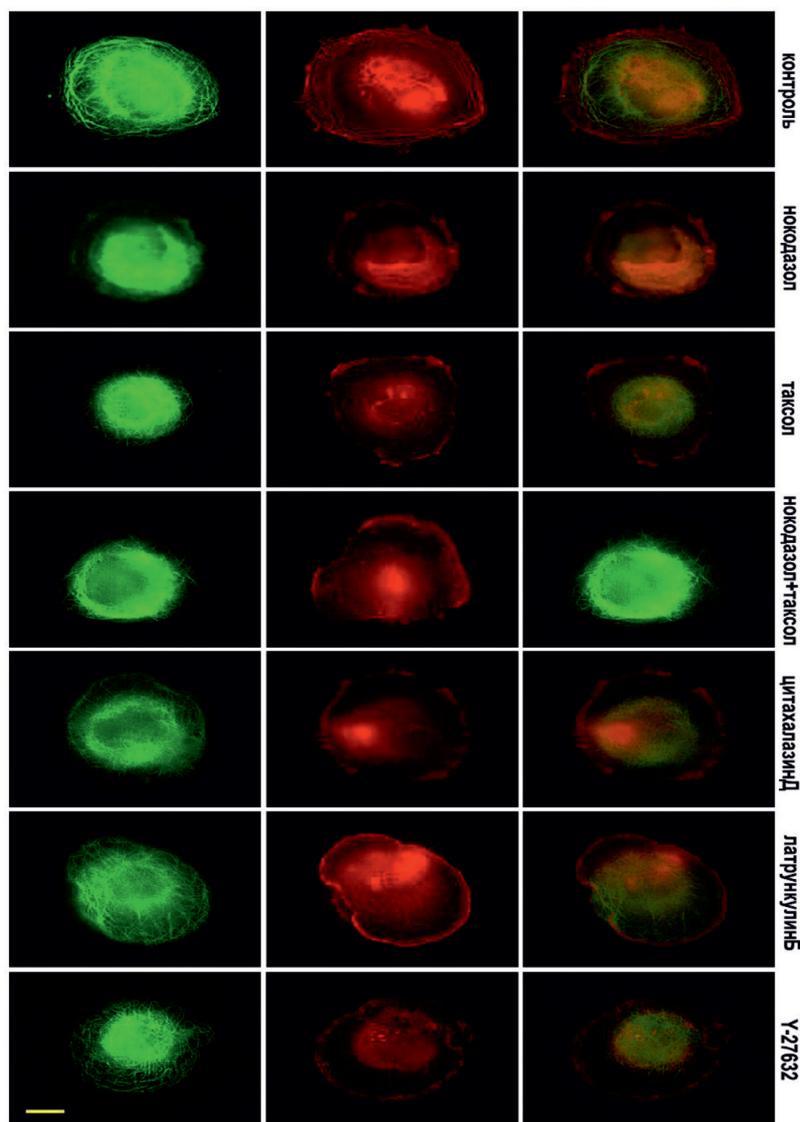


Рис. 5. Микротрубочки (зеленые) и актин (красный) через 30 мин после прикрепления клеток к субстрату (стекло) в норме и при ингибировании цитоскелета. Масштабный отрезок – 10 мкм

Через 30 минут в клетках формируется густая радиальная сеть микротрубочек, но большинство растут дугообразно, замыкаясь в кольцевую структуру, которая не достраивается до края клеток (рис. 5).

В это же время начинает полимеризоваться актин, и по периферии клетки располагаются короткие радиально направленные пучки актиновых микрофиламентов. Через 60 минут после начала распластывания МТ образуют густую сеть, большинство МТ направлены перпендикулярно краю клетки (рис. 6). Также в клетке формируются актиновые стресс-фибриллы, которые располагаются по всей цитоплазме, а кроме того, актин распределен по самому краю клетки, образуя окаймление (рис. 6).

Цитоскелет в условиях деполимеризации МТ

Под воздействием высоких доз нокодозола МТ в клетках отсутствуют на всех стадиях распластывания (рис. 4–6). При полной разборке микротрубочек в клетках наблюдается блеббинг, актин сосредоточен в пузырьках и окаймляет их (рис. 4). Через 30 минут после посадки актин также находится в блебсах, а актин распределен по цитоплазме. В отличие от контрольных клеток, стресс-фибриллы на данном этапе распластывания отсутствуют (рис. 5). Через 60 минут после посадки крупные актиновые стресс-фибриллы располагаются циркулярно, а небольшие пучки актина распределены по всей цитоплазме.

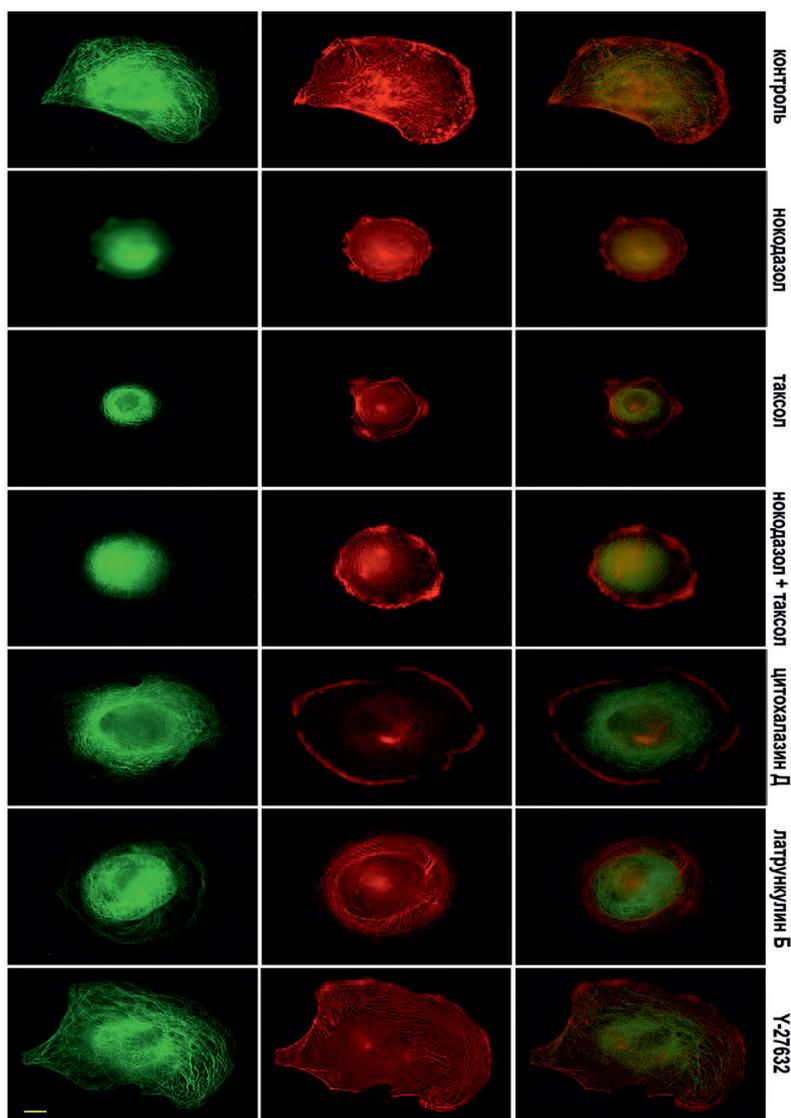


Рис. 6. Микротрубочки (зеленые) и актин (красный) через 60 мин после прикрепления клеток к субстрату в норме и при ингибировании цитоскелета. Масштабный отрезок – 10 мкм

В условиях полной деполимеризации МТ содержание полимерного актина (собранный в стресс-фибриллы и в пучки) меньше, по сравнению с контролем (рис. 6).

Цитоскелет при полной стабилизации МТ

Под воздействием паклитаксела в высокой концентрации МТ образуют более редкую сеть в любой момент распластывания. Кроме того, по сравнению с контрольными клетками, МТ сильно не дорастают до края клетки (рис. 4–6). Актин, через 10 мин после посадки, располагается преимущественно в пузырьках (рис. 4). Через 30 мин после начала распластывания актин сосредоточен на периферии клетки, а также выявляются скопления актина в цитоплазме. Стресс-

фибриллы в отличие от контрольных клеток отсутствуют (рис. 5). Через 60 мин после начала распластывания, в клетках с полностью стабилизированными МТ формируются полигональные актиновые стресс-фибриллы (рис. 6).

Цитоскелет при ингибировании полимеризации актина

Под воздействием цитохалазина Д актин сконцентрирован в пузырьках клеток, распластывание которых сопровождается активным блеббингом (рис. 4–6). Система МТ на раннем этапе распластывания (через 10 мин после посадки) такая же как и контроле. При этом во время блеббинга микротрубочки вырастают в пузырьки (рис. 4). Через

30 минут после посадки сеть МТ более редкая, чем в контроле. Актин сконцентрирован по клеточной периферии и рассеян по цитоплазме.

Цитоскелет в условиях подавления миозин II-зависимого каскада

При ингибировании ROCK через 10 мин после начала распластывания МТ выглядят также как и контроле. Актин сконцентрирован в блебсах клеток (рис. 4). Через 30 мин МТ образуют густую кольцевую сеть, при этом, в отличие от контрольных клеток, под воздействием Y-27632 выявляются МТ, которые сильно изгибаются и образуют петли. Актин сконцентрирован в пузырьках и распределен по цитоплазме, пучки и стресс-фибриллы отсутствуют (рис. 5). Под воздействием Y-27632 стресс-фибриллы формируются на стабильных краях клетки и в цитоплазме. В отличие от контрольных клеток стресс-фибриллы в центральной части клетки отсутствуют (рис. 6).

Распластывание мезенхимальных стволовых клеток КРС на субстрате является сложным многостадийным процессом. Кинетика распластывания носит нелинейный характер и состоит из фаз быстрого (P1) и медленного (P2) распластывания. Эти же фазы распластывания описаны для клеток, завершивших процесс дифференцировки: клетки из эпителия почки мартышки линии Vero [11], клетки сердечного эндотелия лягушки ХТН-2 [3]. Фаза быстрого распластывания МСК КРС длится всего 10 мин и характеризуется максимальной скоростью. Далее наступает фаза медленного распластывания, которая не прекращается в течение 3 ч, и характеризуется постепенным уменьшением скорости распластывания. Подавляющее большинство МСК распластывается асинхронно, поляризуется через 1–2 ч и переходит к активной миграции, что в наибольшей степени соответствует динамике клеток Vero [11]. Стоит отметить, что поляризация нормальных фибробластов в других моделях наступает гораздо позднее: через 6–8 часов после начала распластывания [1, 13].

Полная деполимеризация МТ в значительной степени подавляет процесс распластывания МСК, кривая распластывания приобретает линейный вид. Распластывание клеток сопровождается блеббингом в течение всех 3,5 ч наблюдения. По истечении 30 мин активные участки ламеллы начинают разделяться вогнутыми стабильными краями. В клетках под воздействием нокадазола существенно снижается скорость распластывания (табл. 1). Площадь клеток по истечении 3 ч оказывается мень-

ше, чем в контрольных клетках (табл. 2). Однако для фибробластов показано, что конечная площадь распластанных клеток не изменяется при деполимеризации МТ [14]. Эффект полной стабилизации МТ проявляется похожим образом, клетки подвергаются продолжительному блеббингу. Таким образом, баланс системы МТ критичен для нормального процесса распластывания, поскольку даже частичное подавление динамики МТ приводит к значительному замедлению процесса распластывания.

Известно, что киназа ROCK ингибирует ацетилирование МТ, что способствует активной миграции и инвазии клеток [15]. Таким образом, можно предположить, что ингибирование киназы ROCK может замедлять распластывание клеток, опосредованно, через стабилизацию МТ. Однако на стадии распластывания клеток подавление киназы ROCK в значительной степени влияет только на морфологию клеток, когда клетки приобретают звездчатую форму, но не замедляет процесса распластывания (табл. 1). Кроме того, высокие дозы ингибитора на стадии распластывания МСК приводят к значительному увеличению их площади, что также было показано для фибробластов крысы [13]. Таким образом, ингибирование киназы ROCK не влияет на кинетику распластывания, но существенно изменяет морфологию клеток.

Заключение

Выдвижение ламеллы в процессе распластывания осуществляется за счет полимеризации актина на активном краю. Наши данные показывают, что воздействие цитохалазина в низких дозах также замедляет процесс распластывания, способствует изменению морфологии клеток, но не влияет на форму кинетической кривой самого процесса. Похожий эффект проявляет воздействие другого ингибитора полимеризации актина – латрункулина Б. Таким образом, наши результаты укладываются в общие представления о функции актина в процессе распластывания.

Однако стоит отметить, что системы МТ и актинового цитоскелета тесно связаны между собой, поскольку при любом воздействии на систему МТ наблюдаются изменения в формировании актинового цитоскелета. Так, в случае полной разборки и подавлении динамической нестабильности МТ замедляется формирование стресс-фибрилл. При этом полная стабилизация МТ приводит к формированию мощных стресс-фибрилл. В то же время при неполном ингибировании полимеризации актина изменяется морфология системы МТ. Интересно, что при подавлении активно-

сти киназы ROCK, изменения затрагивают в большей степени актиновый цитоскелет, но также и систему МТ.

Таким образом, основную роль в процессе распластывания играют динамичные микротрубочки. Кроме того, важным фактором для правильного распластывания и поддержания морфологических характеристик МСК КРС является взаимодействие систем цитоскелета, а именно микротрубочек и актомиозинового комплекса.

Список литературы

1. Ровенский Ю.А., Васильев Ю.М. Морфогенетические реакции клеток и их нарушения при опухолевой трансформации. М.: Медицина, 2004. С. 376–414.
2. Bliokh Zh.L., Smolianinov V.V. Cinematics of fibroblast spreading. I. Analysis of a population. *Biofizika*. 1977. no. 22. P. 471–479.
3. Ganguly A., Yang H., Sharma R., Patel K.D., Cabral F. The role of microtubules and their dynamics in cell migration. *J. Biol. Chem.* 2012. No. 287. P. 43359–43369.
4. Dobereiner H.G., Wiggins C.H., Sheetz M.P. Quantification of cell edge velocities and traction forces reveals distinct motility modules during cell spreading. *PLoS One*. 2008. Vol.3. no. 11 P. e3735.
5. Wolfenson H., Iskratsch T., Sheetz M.P. Early events in cell spreading as a model for quantitative analysis of biomechanical events. *Biophys J*. 2014. no. 107. P. 2508–2514.
6. Etienne J., Duperray A. Initial dynamics of cell spreading are governed by dissipation in the actin cortex. *Biophys J*. 2011. no 101. P. 611–621.
7. Xiong Y., Rangamani P., Fardin M.A., Lipshtat A., Dubin-Thaler B., Rossier O., Sheetz M.P., Iyengar R. Mechanisms controlling cell size and shape during isotropic cell spreading. *Biophys J*. 2010. No. 98. P. 2136–2146.
8. Senju Y., Miyata H. The role of actomyosin contractility in the formation and dynamics of actin bundles during fibroblast spreading. *J. Biochem.* 2009. No. 145. P. 137–150.
9. Waterman-Storer C.M., Worthylake R.A., Liu B.P., Burridge K., Salmon E.D. Microtubule growth activates Rac1 to promote lamellipodial protrusion in fibroblasts. *Nat. Cell Biol.* 1999. No 1. P. 45–50.
10. Goldyn A.M., Kaiser P., Spatz J.P., Ballestrem C., Kemmer R. The kinetics of force-induced cell reorganization depend on microtubules and actin. *Cytoskeleton (Hoboken)*. 2010. Vol. 67. No. 4. P. 241–250.
11. Творогова А.В., Воробьев И.А. Динамические микротрубочки подавляют блэббинг и стимулируют распластывание фибробластов // *Цитология*. 2012. Т. 54. № 10. С. 742–753.
12. Stehbens S., Wittmann T. Targeting and transport: how microtubules control focal adhesion dynamics. *J. Cell. Biol.* 2012. no 198. p. 481–489.
13. Шутова М.С., Александрова А.Ю. Сравнительное исследование распластывания нормальных и трансформированных фибробластов. Роль полимеризации микрофиламентов и актин-миозинового сокращения // *Цитология*. 2010. Т. 52. № 1. С. 41–51.
14. Domnina L.V., Rovinsky J.A., Vasiliev J.M., Gelfand I.M. Effect of microtubule-destroying drugs on the spreading and shape of cultured epithelial cells. *J. Cell Sci.* 1985. No. 74. P. 267–282.
15. Schofield A., Steel R., Bernard O. Rho-associated Coiled-coil Kinase (ROCK) Protein Controls Microtubule Dynamics in a Novel Signaling Pathway That Regulates Cell Migration. *J. Bio. Chem.* 2012. Vol.287. No. 52. P. 43620–43629.

ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА СООБЩЕСТВА ДНЕВНЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ БЕРЕГОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

Малков П.Ю.

ГОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет», Горно-Алтайск,
e-mail: malkovi@bk.ru

Статья продолжает публикацию результатов исследования воздействия туристско-рекреационного природопользования на динамику населения булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea). Цель представленного сообщения – охарактеризовать происходящие структурные изменения в биотических комплексах (таксоценозах) дневных бабочек прибрежных экосистем Телецкого озера в горах Алтая. На основе материалов количественных учетов показано, что выявленные изменения в сообществах в целом соответствуют сформированным ранее представлениям о том, что население булавоусых чешуекрылых чутко реагирует на высокий уровень рекреационного воздействия динамикой видового состава и структуры. Такая тенденция прослеживается как в частных изменениях территориального распределения отдельных видов, так и в направленном смещении интегральных показателей всего населения булавоусых чешуекрылых. Сравнение ситуации на побережье Телецкого озера и в Катунском рекреационном районе позволяет утверждать, что в условиях низкогорного высотного пояса Северного и Северо-Восточного Алтая луговые околоводные комплексы дневных бабочек представляют собой наиболее уязвимый (по отношению к туристско-рекреационному влиянию) тип сообществ этой группы насекомых. Направленное снижение видового богатства и разнообразия в них проявляется во всех изученных нами ситуациях.

Ключевые слова: дневные бабочки, булавоусые чешуекрылые, рекреация

INFLUENCE OF RECREATIONAL LAND USE ON THE BUTTERFLY COMMUNITIES OF COASTLINE OF LAKE TELETSKOYE

Malkov P.Yu.

Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, e-mail: malkovi@bk.ru

The article continues to publish the results about the study of the impact of tourist and recreational environmental management on the dynamics of the population of butterflies. The purpose of the report is to characterize the ongoing structural changes in the communities of the coastal ecosystems of Lake Teletskoye in the Altai Mountains. It is shown that the communities of the butterflies respond to a high level of recreational impact by the dynamics of the composition and structure of species. This is seen both in individual changes in the territorial distribution of individual species, and in the directional shift of the integral indicators of the entire population. A comparison of the situation on the shores of Lake Teletskoye and in the Katunsky recreation area suggests that under the conditions of the Northern and Northeastern Altai, the coastal meadow butterfly complexes are the most vulnerable (in relation to tourist and recreational influence) type of communities of this group of insects.

Keywords: butterflies, Hesperioidea, Papilionoidea, recreation

Становление и развитие устойчивого природопользования на рекреационных территориях подразумевает наличие обязательного мониторинга состояния их биологических сообществ. В значительной степени это обусловлено тем, что благоприятные для рекреации местности нередко представляют собой уникальные природные объекты с наличием редких и эндемичных компонентов. Сохранение этой уникальности – обязательное условие не только для поддержания стабильности рекреационных территорий, но и существенный фактор повышения их привлекательности для отдыхающих.

Представленная статья продолжает публикацию результатов исследования закономерностей трансформации населения дневных бабочек (булавоусых чешуекрылых) на Алтае под воздействием туристско-рекреационного природопользования [1–2]. Цель этого сообщения – охарактеризовать происходящие структурные изменения в сообществах дневных чешуекрылых прибрежных экосистем Телецкого озера.

Материалы и методы исследования

Оценку туристско-рекреационного влияния на состояние населения булавоусых чешуекрылых осуществляли на примере двух ландшафтных урочищ, представленных на побережьях северо-западной части Телецкого озера (прибрежные луга и хвойно-мелколиственные леса). При этом сообщества дневных бабочек в каждом из биотопов оценивали в двух вариантах – на участках с высоким и участках с низким уровнем рекреационного воздействия.

Учеты проводили в 2018 г. в разгар туристического сезона (вторая половина июля). Бабочек учитывали маршрутным методом на трансектах. Ширину трансекта определяли для каждого вида отдельно по удвоенной средней дальности обнаружения. Для вычисления обилия использовали формулу

$$x_i = \frac{5n_i}{k_i L},$$

где x_i – обилие i вида на 1 га, n_i – число зарегистрированных особей i вида, k_i – средняя дальность обнаружения i вида в метрах, L – длина маршрута в километрах.

В качестве интегральных показателей для оценки состояния населения дневных бабочек анализи-

ровали: число видов, встреченных на маршруте, суммарное обилие, индексы разнообразия Симпсона и Шеннона.

Индекс Симпсона: $1 - D = 1 - \frac{\sum n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$, индекс Шеннона:

$$H' = \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N},$$

где n_i – обилие i вида, N – суммарная плотность населения, \ln – натуральный логарифм [3].

Оценку статистической достоверности различия индексов разнообразия проводили с помощью ресэмплинга перестановочным (permutation) тестом [4] при 9999 рандомизациях. Все вычисления осуществляли с использованием программ MS Excel и Paleontological Statistics [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Телецкое озеро включено в список природных объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО в составе единого территориального объекта «Золотые горы Алтая» [6]. Непосредственно в прибрежной части Телецкого озера проживает около 2200 человек, из них 85% в крайней северо-западной части озера – селах Иогач и Артыбаш. Местное население в основном занимается заготовкой и переработкой древесины, подсобным сельским хозяйством и оказанием разнообразных услуг туристам и отдыхающим. Количество отдыхающих на озере составляет около 100 тысяч человек в год, причем их массовый приток приходится на середину лета [7]. В прибрежной зоне расположено более двух десятков относительно крупных турбаз, а также множество мелких объектов сервисной инфраструктуры – палаточные кемпинги, пункты проката лодок, велосипедов и лошадей, примитивные пирсы и причалы, торговые точки и др.

Луговые участки по побережьям северо-западной части Телецкого озера испытывают значительную рекреационную нагрузку. Большинство более или менее удобных мест на берегу озера используются в качестве мест для организации палаточных биваков. В естественном (разнотравно-злаковом) состоянии прибрежные луга сохранились лишь на территории Алтайского заповедника и на очень ограниченных локальных участках в непосредственной близости от него.

Хвойно-мелколиственные леса по побережьям подвержены влиянию рекреационного фактора, как правило, в меньшей степени. Главным образом это обусловлено наличием естественных трудностей для передвижения людей по лесу такого типа, в частности зарослей кустарников и папоротнико-высокотравья, буреломов, значи-

тельной расчлененности мезо- и микро-рельефа. Рекреационные участки лесов обычно находятся либо непосредственно на огражденных территориях турбаз, либо граничат с ними или наиболее популярными туристическими объектами, такими, например, как водопады. Они отличаются от естественных наличием в той или иной степени благоустроенных троп, а также более выраженной мозаичностью условий.

Сведения об обилии бабочек в исследованных биотопах представлены в табл. 1. Хорошо заметно обеднение сообществ булавовых чешуекрылых на участках прибрежных лугов с высоким уровнем туристско-рекреационного воздействия. Более половины выявленных здесь видов способны к длительным перелетам, и их присутствие может иметь лишь временный, миграционный характер (*Pieris brassicae*, *Pontia daplidice*, *Colias hyale*, *Nymphalis vaualbum*). Из числа явно оседлых видов обычна только голубянка *Everes argiades*, гусеницы которой в таких условиях, скорее всего, развиваются на широко представленном луговом клевере *Trifolium pratense*.

Принципиально иная ситуация складывается на тех луговых участках, где уровень рекреационной нагрузки незначителен. В составе населения дневных бабочек проявляется группа многочисленных и обычных видов, причем за редким исключением они не принадлежат к мигрантам (*Leptidea sinapis*, *Minois dryas*, *Hyponphele lycaon*, *Coenonympha amaryllis*, *Lycaeides subsolanus*, *Plebicula amanda*). Из числа видов с небольшой плотностью исключительно здесь обнаружены шашечницы *Melitaea latonigena*, *M. cinxia*, *M. diamina* и голубянка *Tongeia fischeri*.

В хвойно-мелколиственных лесах различия между сообществами дневных бабочек естественных и рекреационных участков выражены в меньшей степени. Одним и тем же порядком чисел характеризуется обилие белянок *Leptidea morsei*, *Pontia daplidice*, *Gonepteryx rhamni*, пестрокрыльницы изменчивой *Araschnia levana*, перламутровки *Argynnis paphia* и цветочного глазка *Aphantopus hyperantus*. Однако и в этом случае есть виды, обнаруженные только на контрольных или только на подверженных рекреационному воздействию участках. В частности, в местах концентрации отдыхающих не встречены типично лесные – толстоголовка *Ochloides sylvanus*, перламутровки *Brenthis ino* и *Clossiana thore*, чернушки *Erebia aethiops* и *Erebia ligea*. Только на территориях турбаз, обочинах лесных дорог, тропинок и на полянах в местах рекреации обнаружена сеница

Coenonympha hero и голубянки *Celastrina argiolus*, *Cupido osiris*, *Cyaniris semiargus*, *Plebejus argus*, кроме того, изредка встречаются мигранты – капустница *Pieris brassicae* и крапивница *Aglais urticae*, не найденные в контроле.

Таблица 1
Население дневных чешуекрылых
побережий Телецкого озера
(июль 2018 г.), особей/га

Вид	прибрежные луга		хвойно-мелколиственные леса	
	Н	В	Н	В
<i>Minois dryas</i>	32	0	0	0
<i>Pontia daplidice</i>	27	0,3	0,2	0,2
<i>Leptidea morsei</i>	7	0,4	0,4	0,6
<i>Leptidea sinapis</i>	6	0	0	0
<i>Everes argiades</i>	0	5	0,5	1
<i>Neptis rivularis</i>	0	0	5	0,9
<i>Aphantopus hyperantus</i>	0,4	0	4	4
<i>Polygonia c-album</i>	0,8	0	0,4	2
<i>Pieris napi</i>	0	0	1	2
<i>Colias hyale</i>	1	0,4	0,5	1
<i>Thymelicus lineola</i>	2	0,2	0	0
<i>Hyponephele lycan</i>	2	0	0	0
<i>Lycæides subsolanus</i>	2	0	0	0
<i>Plebicula amanda</i>	2	0	0	0
<i>Argynnis paphia</i>	0	0	0,8	0,6
<i>Gonepteryx rhamni</i>	0	0	0,4	0,9
<i>Brenthis ino</i>	0,7	0	0,4	0
<i>Ochlodes sylvanus</i>	0	0	1	0
<i>Araschnia levana</i>	0	0	1	1
<i>Argynnis adippe</i>	1	0	0	0
<i>Coenonympha amaryllis</i>	1	0	0	0
<i>Erebia aethiops</i>	0	0	1	0
<i>Celastrina argiolus</i>	0	0	0	1
<i>Cupido osiris</i>	0	0	0	1
<i>Cyaniris semiargus</i>	0	0	0	1
<i>Tongeia fischeri</i>	0,9	0	0	0
<i>Pieris brassicae</i>	0	0,2	0	0,6
<i>Nymphalis vaualbum</i>	0,4	0,4	0	0
<i>Coenonympha hero</i>	0	0	0	0,7
<i>Aglais urticae</i>	0	0	0	0,6
<i>Melitæa latonigena</i>	0,6	0	0	0
<i>Melitæa diamina</i>	0,6	0	0	0
<i>Clossiana thore</i>	0	0	0,5	0
<i>Lopinga achine</i>	0	0	0,5	0
<i>Argynnis aglaja</i>	0	0	0,4	0,5
<i>Melitæa cinxia</i>	0,4	0	0	0
<i>Erebia ligea</i>	0	0	2	0
<i>Papilio machaon</i>	0,2	0	0	0,09
<i>Plebejus argus</i>	0	0	0	0,1

Условные обозначения: Н – низкий, В – высокий уровень туристско-рекреационного воздействия.

Более общее представление о закономерностях рекреационной трансформации населения дневных бабочек позволяет получить сравнение интегральных показателей, которые определяются с учетом вклада всей совокупности видов и, следовательно, более надежны в сравнении с фактом изменения обилия (присутствия – отсутствия) одного вида [2]. Анализ показал, что на лугах по побережью Телецкого озера в местах с повышенным уровнем рекреационного влияния в сравнении с контролем проявляется значительное обеднение сообществ дневных бабочек по всем четырем обобщающим характеристикам (табл. 2). Снижение всех проанализированных показателей, в том числе суммарного обилия, которое главным образом зависит от частоты встречаемости преобладающих (доминирующих по численности) видов, однозначно свидетельствует о крайне высокой степени трансформации сообществ такого типа в рассматриваемых условиях, что делает такие участки мало пригодными даже для видов с высоким уровнем экологической пластичности.

В условиях хвойно-мелколиственных лесов различия между исследованными вариантами сообществ выражены не столь существенно. При этом население булавоусых чешуекрылых на рекреационных участках в прибрежных лесах по ряду показателей имеет сравнительно более высокие значения, хотя это и не подтверждается использованными статистическими тестами. Главным образом это обусловлено проникновением в хвойно-мелколиственные леса лугово-степных и эвритопных видов дневных бабочек по открытым и мозаичным участкам, формирование которых в значительной степени связано с антропогенной деятельностью. В результате на рекреационных участках меняется морфологический (физиономический) облик населения дневных бабочек, но уровень богатства и разнообразия при этом остается относительно постоянным.

Таблица 2
Интегральные показатели
населения дневных чешуекрылых
побережий Телецкого озера

Показатель	прибрежные луга		хвойно-мелколиственные леса	
	Н	В	Н	В
Видовое богатство	20**	7	18	20
Суммарное обилие	88	6,9	20	19,8
Индекс Симпсона	0,76*	0,46	0,87	0,91
Индекс Шеннона	1,90	1,07	2,43	2,71

Примечание. Условные обозначения: * – $P < 0,01$, ** – $P < 0,001$.

Сравнение ситуации на побережье Телецкого озера и в Катунском рекреационном районе [1–2] позволяет утверждать, что в условиях Северного и Северо-Восточного Алтая луговые околотовные комплексы дневных бабочек представляют собой наиболее уязвимый по отношению к туристско-рекреационному влиянию тип сообществ этой группы насекомых. Направленное снижение видового богатства и разнообразия в них проявляется во всех нами изученных биотопах. В лесных и суходольно-луговых биотопах изменения проявляются, как правило, в меньшей степени.

Заключение

Выявленные изменения в сообществах дневных чешуекрылых побережий Телецкого озера в целом соответствуют сформированному ранее представлениям о том, что население булавоусых чешуекрылых чутко реагирует на высокий уровень рекреационного воздействия динамикой видового состава и структуры. Это прослеживается как в частных изменениях пространственного распределения отдельных видов, так и в направленном смещении интегральных показателей всего населения. При этом из всего разнообразия экосистем, эксплуатируемых в качестве рекреационных объектов, наиболее критическая ситуация складывается на прибрежных луговых участках, сообщества дневных чешуекрылых в которых отклоня-

ются от своего естественного аналога в наибольшей мере.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 16-45-040158 p_a и инициативного научного проекта госзадания Минобрнауки РФ 5.5702.2017/БЧ.

Список литературы

1. Малков П.Ю. Влияние рекреационного природопользования на биотопические группировки дневных бабочек (на примере Катунского рекреационного района Республики Алтай) // Международный журнал фундаментальных и прикладных исследований. 2016. № 9–2. С. 252–256.
2. Малков П.Ю. К оценке устойчивости населения дневных бабочек в условиях Катунского рекреационного района // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 11–1. С. 86–90.
3. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии: сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова. Тольятти, 2005. С. 91–129.
4. Шитиков В.К. Использование рандомизации и бутстрепа при обработке результатов экологических наблюдений // Принципы экологии. 2012. Т. 1. № 1. С. 4–24.
5. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. № 4. 9 p. URL: <http://folk.uio.no/ohammer/past/Past3.zip> (дата обращения: 27.11.2018).
6. Ротанова И.Н., Иванов А.В., Журавлева С.М., Ефремов Г.А. Большой Алтай: биосферно-культурная уникальность как потенциал межгосударственного сотрудничества // Развитие территорий. 2016. № 1. Т. 4. С. 93–105.
7. Шевченко Г.А. Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера (Горный Алтай): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2010. 22 с.

УДК 632.11:633.11

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ К СТАРЕНИЮ, ЗАСУХЕ И ЗАСОЛЕНИЮ

Мамедова С.А., Ибрагимова З.Ш., Алиев Р.Т.

Институт генетических ресурсов НАН Азербайджана, Баку, e-mail: smamedova2002@mail.ru

Цель работы заключалась в сравнительной оценке устойчивости образцов пшеницы к различным стресс-факторам по показателям жизнеспособности семян и по содержанию гетероциклической аминокислоты пролин (пирролидин- α -карбоновая кислота) в листьях различных разновидностей мягкой пшеницы. Стресс-факторами являлись ускоренное старение семян (3-дневная инкубация семян при повышенной относительной влажности (95%) и температуре воздуха (40°C)), обезвоживание (содержание в растворе сахараозы в концентрации 10,5 атм в течение 24 часов), засоление (содержание в растворе NaCl 10 атм в течение 24 часов) проростков. Значительное увеличение содержания пролина относительно контроля в условиях состаривания, засухи и засоления происходило у тех форм, где в контрольных вариантах отмечалось достаточно низкое содержание этой аминокислоты. Сравнительная оценка устойчивости семян изученных образцов мягкой пшеницы к старению и ответной реакции растений на воздействие засухи и засоления позволила сделать выводы, что по показателям всхожести семян после ускоренного старения и по содержанию пролина в листьях растений образец пшеницы K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrosperrum* Körn. проявил большую устойчивость по сравнению с остальными изученными образцами. В ряду исследованных образцов наименее устойчивым оказался образец K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn.

Ключевые слова: пшеница, стресс, семена, листья, всхожесть, пролин

ESTIMATION OF RESISTANCE OF THE DIFFERENT WHEAT VARIETIES TO AGING, DROUGHT AND SALINITY

Mamedova S.A., Ibragimova Z.Sh., Aliev R.T.

Institute of Genetic Resources of ANAS, Baku, e-mail: smamedova2002@mail.ru

The aim of the work was to comparatively assess the resistance of wheat samples to various stress factors in terms of seed viability and the content of the heterocyclic amino acid proline (pyrrolidine- α -carboxylic acid) in the leaves of different varieties of soft wheat. Stress factors were accelerated aging of seeds (3-day incubation of seeds at elevated relative humidity (95%) and air temperature (40°C)), dehydration of seedlings (content in sucrose solution at a concentration of 10.5 atm within 24 hours), salinity of seedlings (content in a solution of NaCl at a concentration of 10 atm for 24 hours). A significant increase in the content of proline relative to the control in conditions of aging, drought, and salinization occurred in those forms where a relatively low content of this amino acid was observed in the control variants. A comparative assessment of the resistance of the studied wheat samples seeds to aging and the response of plants to the effects of drought and salinity showed that, in terms of seed germination after accelerated aging and the content of proline in the leaves of plants, the K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrosperrum* Körn. wheat showed greater stability compared to the other studied samples. The least stable was the K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn. sample.

Keywords: wheat, stress, seeds, leaves, germination, proline

Потребность в устойчивых и адаптированных сортах растений для включения их в селекционные программы предопределила необходимость изучения ответных реакций растений на воздействие неблагоприятных условий среды у разных видов и сортов растений. Адаптивный характер реакции растения на стресс сопровождается повышением или понижением содержания тех или иных компонентов клетки, а также развитием любого признака, который способствует выживанию вида и его размножению.

Известно, что семена, которые лучше переносят неблагоприятные условия ускоренного старения, более устойчивы к абiotическим стрессорам при прорастании. Приводятся сведения о связи старения с нарушением физиологических и биохимических процессов [1; 2], с накоплением ингибиторов роста и токсичных продуктов метаболизма [3]. В основе повреждений,

приводящих к старению семян и снижению их стресс-устойчивости, лежит генерация свободных радикалов, которую инициирует автоокисление липидов и неферментативное гликозилирование [4]. Эти реакции не требуют высокого влагосодержания, и их продукты способны накапливаться в воздушно-сухих семенах, что приводит к окислительным повреждениям мембран, белков и ДНК. По современным представлениям некоторые аминокислоты, в том числе гетероциклическая аминокислота пролин, инициируют активацию адаптивных механизмов [5; 6]. Пролин уменьшает осмотический стресс, участвует в передаче сигнала стресса, регулирует окислительно-восстановительный потенциал клетки. В условиях стресса аккумуляция пролина индуцируется усилением его синтеза, а также восстановлением окисленных аминокислот. Значительная часть пролина, накапливающегося

в клетке во время стресса, синтезируется из глутамата в пероксисомах [5]. При едином мнении, что увеличение содержания пролина в растениях является общей физиологической реакцией на засуху, засоление и другие неблагоприятные воздействия, в литературе встречаются противоречивые сведения о зависимости устойчивости растений к стрессу от содержания пролина. Так, в работе С.И. Михальской и др. проанализирован уровень свободного L-пролина в побегах и корнях проростков кукурузы в условиях сульфатно-хлоридного засоления. Показано, что стресс-устойчивость сопровождается повышением содержания этого осмолита. Солеустойчивость трансформантов, содержащих двухцепочечный РНК-супрессор гена пролиндегидрогеназы кукурузы, сопровождался аккумуляцией свободного L-пролина [7]. В работе Y. Люо и др. более высокое содержание пролина наблюдалось у холодоустойчивого генотипа земляники по сравнению с неустойчивым [8]. А.В. Поморцев также отмечает более высокое содержание пролина у морозоустойчивых растений ржи и тритикале [9]. Сообщается, что существует положительная корреляция между содержанием пролина и устойчивостью к засухе у сортов риса и устойчивостью к засолению у растений табака и картофеля [10].

Согласно противоположной точке зрения, чем хуже растение переносит неблагоприятные условия, тем выше содержание пролина в его тканях [11]. Так, в работе А. Aghaee и др. [12] приводятся данные о более низком содержании пролина в стрессовых ситуациях у устойчивого генотипа риса. По данным J. Liu [13] у чувствительных к засолению и к холоду мутантов арабидопсиса отмечено более высокое содержание пролина. По утверждению А.Ф. Кириллова увеличение содержания пролина может служить в качестве количественной меры водного стресса [11].

Эта противоречивость может быть обусловлена как методическими причинами (различная доза и экспозиция стрессовых воздействий в различных экспериментах), так и сложным механизмом взаимодействия пролина с другими стресс-протекторами. Сравнительное исследование стрессового накопления пролина в различных органах растений, отличающихся по устойчивости видов и сортов необходимо как для разработки методологии оценки устойчивости растений, так и для более глубокого понимания стресс-протекторных функций пролина.

Цель исследования заключалась в сравнительной оценке устойчивости образцов мягкой пшеницы к различным стресс фак-

торам по показателям жизнеспособности семян и по содержанию гетероциклической аминокислоты пролин (пирролидин- α -карбоновая кислота) в листьях растений пшеницы.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили свежие семена 5 разновидностей мягкой пшеницы: YBFS017 K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrospermum* Körn., YBFS 017 K-35 *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn., YBFS017 K-71 *T. aestivum* L. v. *murinum* Flaks., YBFS017 K-72 *T. aestivum* L. v. *caïnotrics* Körn., YBFS 017 K-75 *T. aestivum* L. v. *glaucolutescens* Vatr. Стресс-факторами являлись ускоренное старение семян, обезвоживание и засоление проростков. Для имитации продолжительности хранения семян применялся метод их искусственного состаривания. Этот метод предполагает 3-дневную инкубацию семян при повышенной относительной влажности и температуре воздуха [1], что позволяет моделировать воздействие неблагоприятных факторов и прогнозировать их влияние на устойчивость семян различных сортов и образцов растений. Оценка жизнеспособности проводилась по тесту лабораторной всхожести семян, выражаемой в процентах от общего числа (n):

$$G = \frac{A \times 100\%}{n},$$

где A – число взошедших семян.

При засухе (содержание проростков в растворе сахарозы (10,5 атм) в течение суток) и соевом стрессе (содержание проростков в растворе 10 атм NaCl (10 атм) в течение суток) анализировали динамику изменения содержания пролина в листьях растений по методу Bates [14]. Стрессовому воздействию подвергали 5-дневные проростки, выращенные в нормальных условиях. Для сравнительного анализа использовали 6-суточные проростки. Пробы отбирали и фиксировали в одно и то же время суток. Контролем служили растения, выращенные в нормальных условиях.

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки функциональных нарушений жизнеспособности семян при ускоренном старении нами использовался такой интегральный показатель, как их всхожесть (рис. 1). При оптимальных условиях прорастания всхожесть семян 5 разновидностей мягкой пшеницы варьировала в пределах 92,5–100,0%. Анализ всхожести подвергнутых ускоренному старению семян 5 разновидностей мягкой пшеницы показал, что 3-дневное состаривание подавляло прорастание семян различных образцов в разной степени. Так, при наблюдаемом резком падении (на 12,0–46,5%) всхожести семян у образцов K-71 – *T. aestivum* L. v. *murinum* Flaks., K-72 – *T. aestivum* L. v. *caïnotrics* Körn. и K – 75 *T. aestivum* L. v. *glaucolutescens* Vatr., для образцов K-31 – *T. aestivum* L. v. *erythrospermum* Körn., K-35 – *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn.

отмечено падение всхожести всего на 2,0%, что свидетельствует об их большей устойчивости к ускоренному старению. Наибольший процент потери всхожести семян (46,5%) был характерен для образца YBFS017 K-72 – *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn.

На рис. 2 представлены результаты исследований по определению содержания пролина в побегах проростков, подвергнутых старению, засухе и засолению. Уровень этой аминокислоты у ряда изученных образцов варьировал, однако по абсолютной величине содержание пролина в проростках опытных растений превосходило показатели содержания пролина в проростках контрольных вариантов. Содержание пролина варьировало от 0,44 до 1,02 $\mu\text{M}/\text{мг}$ у растений контрольного варианта, где значение содержания пролина имело свой максимум у образца K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrosperrum* Körn., а минимальное значение было отмечено у варианта опыта K-35 *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn.

Обнаружены значительные различия между образцами по содержанию пролина при стрессе. При ускоренном старении содержание пролина варьировало в пределах 0,72 и 1,77 $\mu\text{M}/\text{мг}$. Наибольшая кратность увеличения содержания пролина отмечена у образца K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn., в 2 раза выше, чем в контрольном варианте. Относительно контроля в 1,16 раз увеличилось содержание пролина у образца K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrosperrum* Körn. По мнению Ж.Н. Калацкой и др., так как уровень пролина возрастает пропорционально увеличению степени и продолжительности воздействия неблагоприятных условий хранения, предполагается, что его

накопление в проростках свидетельствует скорее о степени воздействия повреждающего фактора, а не о проявлении устойчивости к нему [15]. Однако в наших опытах наблюдалось различное накопление пролина в ответ на одинаковое для всех образцов стрессовое воздействие. Что, опираясь на дополнительные результаты по всхожести семян при ускоренном старении, позволяет нам сделать выводы о детерминированности устойчивости различных генотипов растений.

При засухе диапазон изменения содержания пролина варьировал между 0,713 и 2,85 $\mu\text{M}/\text{мг}$. Отмечено многократное увеличение содержания пролина при засухе относительно контроля в листьях образца K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn. (в 4,45 раза). Наименьшее изменение содержания пролина относительно контроля наблюдали у разновидности мягкой пшеницы K-71 *T. aestivum* L. v. *murinum* Flaks. (в 1,2 раза).

При засолении содержание пролина менялось в пределах 0,931–1,653 $\mu\text{M}/\text{мг}$. Наибольшее значение содержания пролина наблюдалось у растений образца K-71 *T. aestivum* L. v. *murinum* Flaks., что превышало значение контроля в 1,9 раз, наименьшее у образца K-35 *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn., превышение относительно контроля в 2,1 раза. Представляет интерес образец K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn., у которого содержание пролина превышало значение контрольного варианта в 2,2 раза. Наименьшая кратность превышения содержания пролина относительно контроля была у образца K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrosperrum* Körn. – 1,34 раза.

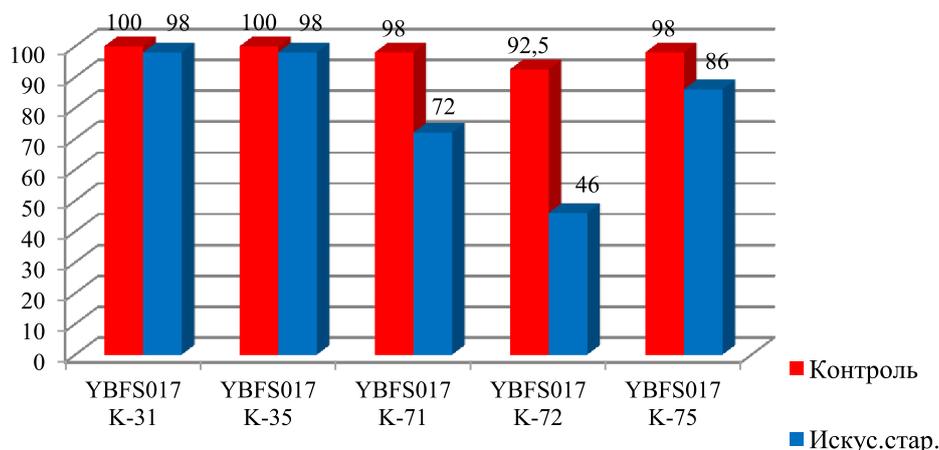


Рис. 1. Всхожесть искусственно состаренных семян различных образцов мягкой пшеницы (YBFS 017 K-31 – *T. aestivum* L. v. *erythrosperrum* Körn., YBFS 017 K-35 – *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn., YBFS 017 K-71 – *T. aestivum* L. v. *murinum* Flaks., YBFS 017 K-72 – *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn., YBFS 017 K-75 – *T. aestivum* L. v. *glaucolescens* Vatr.)

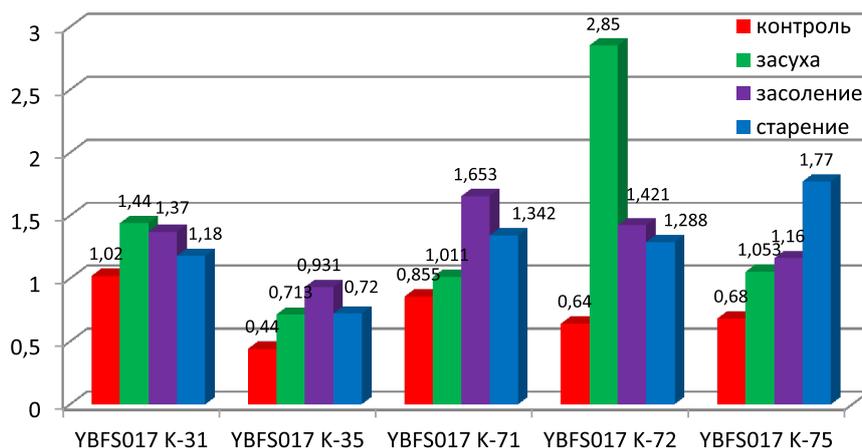


Рис. 2. Содержание пролина у образцов мягкой пшеницы в условиях засухи, засоления и старения ($\mu\text{M/g}$) (YBFS017 K-31 – *T. aestivum* L. v. *erythrospermum* Körn., YBFS 017 K-35 – *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn., YBFS017 K-71 – *T. aestivum* L. v. *murinum* Flaks., YBFS017 K-72 – *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn., YBFS 017 K-75 – *T. aestivum* L. v. *Glaucolutescens* Vatr.)

Интересно, что значительное увеличение содержания пролина в условиях составления, засухи и засоления относительно контроля происходило у тех форм, где в контрольных вариантах содержание этой аминокислоты достаточно низкое. В нашем эксперименте таковыми являлись образцы K-35 *T. aestivum* L. v. *erythroleucon* Körn., K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn. и K-75 *T. aestivum* L. v. *glaucolutescens* Vatr., где значения содержания пролина у контрольных растений составляли, соответственно 0,44 $\mu\text{M/mg}$, 0,64 $\mu\text{M/mg}$, 0,68 $\mu\text{M/mg}$.

Закключение

Сравнительная оценка устойчивости семян изученных 5 разновидностей мягкой пшеницы к старению и ответной реакции растений на воздействие засухи и засоления позволила сделать выводы, что по показателям всхожести семян после ускоренного старения и по содержанию пролина в листьях после стрессового воздействия, образец K-31 *T. aestivum* L. v. *erythrospermum* Körn. проявил большую устойчивость как к засухе и к засолению, так и к ускоренному старению по сравнению с остальными изученными образцами. В ряду исследованных образцов наименее устойчивым оказался образец K-72 *T. aestivum* L. v. *cainotrics* Körn.

Список литературы

1. Смоликова Г.Н. Применение метода ускоренного старения для оценки устойчивости семян к стрессовым воздействиям // Вестник СПбГУ. 2014. Сер. 3. Вып. 2. С. 82–93.
2. Банкин М.П., Пожванов Г.А., Дубовская А.Г., Гаврилова В.А., Билова Т.Е., Фролов А.А., Медведев С.С., Смоликова Г.Н. Сравнительный анализ биохимических изменений в семенах *Brassica napus* L. при длительном хранении и ускоренном старении с использованием метаболомного подхода // Вавиловская международная конференция, (Санкт-Петербург, 20–24 ноября 2017 г.). Санкт-Петербург, 2017. С. 173.

3. Веселова Т.В. Изменение состояния семян при их хранении, проращивании и под действием внешних факторов (ионизирующего излучения в малых дозах и других слабых воздействий), определяемое методом замедленной люминесценции: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2008. 48 с.
4. Веселова Т.В., Веселовский В.А., Леонова Е.А. Что означает изменение гетерогенности популяции семян при ускоренном старении // Физиология растений. 1999. Т. 46. С. 2477–2483.
5. Шевякова Н.И., Бакулина Е.А., Кузнецов В. В. Антиоксидантная роль пролина у галофита хрустальной травки при действии засоления и паракавата, инициирующих окислительный стресс // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 5. С. 736–742.
6. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Абрис, 2011. 742 с.
7. Михальская С.И., Матвеева А.Ю., Сергеева Л.Е., Кочетов А.В., Тищенко Е.Н. Исследование содержания свободного пролина в растениях кукурузы, трансформированных in planta с использованием lba4404, несущего *proline* с двухцепочечным РНК-супрессором гена пролилиндегидрогеназы // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. 2013. Т. 15. № 3 (5). С. 1662–1665.
8. Luo Y., Tang H., Zhang Y. Production of reactive oxygen species and antioxidant metabolism about strawberry leaves to low temperatures. *J. Agr. Sci.* 2011. V. 3. P. 89–96. DOI:10.5539/jas.v3n2p89.
9. Поморцев А.В. Физиологические и биохимические процессы, определяющие зимостойкость озимых зерновых культур в условиях Восточной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2013. 22 с.
10. Колупаев Ю.Е., Вайнер А.А., Ястреб Т.О. Проллин: физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях // Вестник Харьковского Национального аграрного университета. Серия биология. 2014. Вып. 2 (32). С. 6–22.
11. Кириллов А.Ф., Козымик Р.А., Даскалюк А.П., Кузнецова Н.А., Харчук О.А. Оценка содержания пролина в растениях сои при воздействии засухи и засоления // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. № 1. Вып. 18. С. 194–201.
12. Aghaee A., Moradi F., Zare-Maivan H., Zarinkamar F., Pour Irandoost H., Sharifi P. Physiological responses of two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to chilling stress at seedling stage. *Afr. J. Biotechnol.* 2011. V. 10 (39). P. 7617–7621.
13. Liu J., Zhu J.K. Proline accumulation and salt stress induced gene expression in a salt hypersensitive mutant of *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 1997. V. 114. P. 591–596.
14. Bates L.S., Walden R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 1973. V. 39. P. 205–207.
15. Калацкая Ж.Н., Ламан Н.А., Филагова И.И., Фролова Т.В., Люшкевич В.А., Чубрик Н.И., Гончарик С.В. Влияние плазменно-радиоволновой обработки семян кукурузы и последующего их хранения в неблагоприятных условиях на физиолого-биохимические особенности проростков // Известия Национальной Академии Наук Беларуси. Серия биологических наук. 2018. Т. 63. № 1. С. 7–19.

УДК 636.2:636.085.16

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИКА «БИО-20» НА ПОКАЗАТЕЛИ ФАГОЦИТАРНОЙ И БАКТЕРИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙТРОФИЛОВ КОРОВ И ТЕЛЯТ**Масалов В.Н., Ляхова О.Л., Сысоева Л.А.***ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел,
e-mail: vladirmasalov121@yandex.ru*

Появление на рынке новых кормовых добавок диктует необходимость научного обоснования их применения в животноводстве. К числу важных эффектов, которыми должны обладать эти добавки, относится укрепление иммунной системы организма, особенно ее неспецифического звена. В настоящей работе проведено исследование влияния кормовой добавки «Био-20» на показатели функциональной активности нейтрофилов коров и телят, полученных от них. Для оценки фагоцитарной активности использовались фагоцитарный показатель, отражающий процент нейтрофилов, способных поглощать частицы латекса, фагоцитарный индекс – среднее число частиц латекса, поглощенных одним нейтрофилом. Кислород-зависимая бактерицидная активность оценивалась по результатам НСТ-теста в модификации Д.Н. Маянского. Определяли спонтанный (базальный) и индуцированный (стимулированный) уровень активности и вычисляемый по их соотношению индекс стимуляции. В качестве индуктора использовался зимозан. Кислород-независимую бактерицидную активность определяли на основании цитохимического выявления катионных лизосомальных белков (КЛБ), рассчитывая средний цитохимический коэффициент. Экспериментальным животным (взрослые коровы) проводили скормливание в течение 4 месяцев кормовой добавки в дозе 50 мл/голову/сутки: по схеме 10 суток – скормливание, 7 суток перерыв. Телятам экспериментальной группы выпаивание препарата проводили в дозе 20 мл/голову в течение 2 месяцев по схеме 10 суток – выпаивание, 7 суток – перерыв. Животные контрольной группы имели обычный рацион. Установлено достоверно подтвержденное повышение фагоцитарного показателя, резерва кислород-зависимой активности нейтрофилов у коров и телят экспериментальных групп. У телят отмечено также достоверное повышение фагоцитарного индекса.

Ключевые слова: пробиотик, коровы, телята, фагоцитарная способность, фагоцитарный индекс, катионные белки, оксидазная активность, фагоцитарный показатель, фагоцитарный индекс

THE EFFECT OF THE BIO-20 PROBIOTIC, CAUSED IN RELATION TO NEUTROPHIL PHAGOCYtic AND MICROBICIDAL ACTIVITY INDICATORS OBSERVED IN COWS AND THEIR CALVES**Masalov V.N., Lyakhova O.L., Sysoeva L.A.***Orel State University named I.S. Turgenyev, Orel, e-mail: vladirmasalov121@yandex.ru*

Introduction of new feed additives in the market (namely, probiotics) dictates the necessity of formulating a scientific rationale for their use in the field of animal husbandry. Application of such additives is aimed at stimulation of various necessary effects, including strengthening of the immune system (especially in terms of its non-specific link). This paper reviews the effect of the «Bio-20» probiotic, caused in relation to neutrophil functional activity indicators observed in cows and their calves. The phagocytic coefficient describing a percentage of neutrophils, able to absorb latex particles, and phagocytic index, determining the average number of latex particles, absorbed by a single neutrophil, were applied to estimate actual phagocytic activity levels. Oxygen-dependent bactericidal activity rates were evaluated based on results of the nitro-blue tetrazolium reduction test, modified by D.N. Mayanskiy. We also tried to determine spontaneous (basal) and induced (stimulated) activity values and calculate the stimulation index, corresponding to their correlation. Zymosan was applied as a necessary inductor. The oxygen-independent bactericidal activity was defined based on the cytochemical identification of lysosome-cationic proteins (LCP) with subsequent calculation of the average cytochemical index. Experimental (laboratory) animals (cows) were fed with an additive in the ratio equal to 50ml/animal/day during four months on the basis of the following scheme: 10 days – feeding, 7 days – pause. We also carried out feeding of calves, included in the treatment group, with a preparation in the ratio equal to 20 ml/animal. Feeding was implemented over a period of two months, applying the following scheme: 10 days – feeding, 7 days – pause. All animals consumed standard rations. As a result, we determined a reliably verified increase in the phagocytic index, namely, a reserve of the oxygen-dependent neutrophil activity in cows and calves of stated experimental groups. The calves under examination additionally showed a significant increase in the phagocytic index.

Keywords: probiotic, cows, calves, phagocytic ability, phagocytic index, cationic proteins, oxidase activity, phagocytic coefficient, phagocytic index

Устойчивое развитие молочного животноводства является одним из важных направлений в решении проблемы продовольственной безопасности Российской Федерации. Эффективность данной отрасли зависит от комплекса взаимосвязанных факторов, среди которых ведущим является освоение инноваций. В свою очередь это предполагает про-

должение научных исследований по определению фундаментальных особенностей жизнеобеспечения организма высокопродуктивных коров в зависимости от условий питания, содержания и изменения физиологического состояния с последующим использованием их результатов непосредственно в практическом животноводстве [1].

В настоящее время в рамках концепции адекватного или «идеального» рациона для продуктивных животных проводятся многочисленные исследования по подбору и оценке различных кормовых компонентов, способных обеспечить оптимальное протекание физиологических процессов, рост, продуктивность и здоровье животного. К числу таких компонентов относятся пробиотики, которые рассматриваются ведущими специалистами как кормовые добавки и препараты, способные решить широкий круг проблем, связанных с коррекцией кишечного биоценоза, иммунной, гормональной и ферментной систем молодняка и взрослых животных. Кроме того, применение пробиотиков позволяет повысить продуктивность животноводства и обеспечить производство высококачественной, безопасной в бактериальном и химическом отношении экологически чистой продукции [2–4].

Появление новых видов пробиотиков и кормовых добавок определяет необходимость научного обоснования их практического применения в животноводстве. При этом, учитывая особенности современных технологий промышленного животноводства (высокая концентрация поголовья безвыпасное и безвыгульное содержание, частые перегруппировки, изменение микроклимата, не всегда сбалансированное и полноценное кормление) и связанный с этим высокий риск инфекционных заболеваний, особую актуальность приобретает оценка влияния пробиотиков на состояние иммунной системы животных.

Центральным звеном в формировании противoinфекционного неспецифического иммунитета организма являются фагоцитирующие лейкоциты, в первую очередь нейтрофилы [5–7].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния кормовой добавки «Био-20» на показатели функциональной активности нейтрофилов коров и телят, полученных от этих коров.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в условиях опытного хозяйства ООО «Орловская Нива». Использовались коровы черно-пестрой породы 4-летнего возраста и телята, полученные от них. Методом парных аналогов были сформированы по 2 группы животных – экспериментальная и контрольная по 10 голов в каждой. Животные контрольной группы находились на основном рационе, соответствующем данной возрастной группе. Экспериментальным животным (взрослые коровы) проводили скармливание препарата в течение 4 месяцев в дозе 50 мл/голову/сутки: по схеме 10 суток – скармливание, 7 суток перерыв. Из телят, в возрасте 1–1,5 месяцев, полученных от коров экспериментальной группы, была сформиро-

ваны экспериментальная группа, в которой препарат применяли в дозе 20 мл/голову в течение 2 месяцев по схеме 10 суток – выпаивание, 7 суток – перерыв. Телята, полученные от контрольных коров, составили контрольную группу. Животные содержались в условиях, соответствующих ветеринарно-зооигиеническим требованиям. Экспериментальное исследование выполняли в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР № 755 от 12 августа 1977 г.). Пробы крови отбирали утром до кормления из яремной вены у 7 голов из каждой группы. Оценка показателей неспецифического иммунитета проводилась до начала эксперимента, на следующий день и через месяц после окончания применения препарата.

Для оценки фагоцитарной активности нейтрофилов крови использовались следующие показатели: фагоцитарный показатель – процент нейтрофилов, способных поглощать частицы латекса (ФП%), фагоцитарный индекс – среднее число частиц латекса, поглощенных одним нейтрофилом (ФИ у.е.).

Определение кислород-зависимой бактерицидной активности проводилось в тесте восстановления нитросинего тетразолия в нерастворимый диформазан (НСТ-тест)) в модификации Д.Н. Маянского [8]. Оценивался базальный и стимулированный уровень активности в спонтанном и индуцированном НСТ-тесте (с-НСТ-тест и-НСТ-тест). В качестве индуктора использовался зимозан, с помощью которого моделировались условия бактериального заражения, что позволяет определить функциональный резерв поглощательной и микробицидной способности нейтрофилов. Результат выражали в процентах НСТ-положительных нейтрофилов на 100 нейтрофилов и в единицах индекса стимуляции (ИС), который рассчитывали отношением значений и-НСТ теста к с-НСТ-тесту.

Кислород-независимую бактерицидную активность определяли на основании цитохимического выявления катионных лизосомальных белков (КЛБ) по В.И. Жибинова [9], рассчитывая средний цитохимический коэффициент (СЦК) катионного белка по формуле $СЦК = (0a + 1b + 2v + 3г + 4д) / 100$, где цифры обозначают интенсивность окраски, буквы – количество (в %) клеток с соответствующей положительной цитохимической реакцией. При этом 0-я степень означает отсутствие окраски цитоплазмы; 1-ая степень – наличие в цитоплазме единичных гранул красителя или слабое диффузное её окрашивание; 2-ая степень – умеренное количество гранул красителя или умеренное диффузное окрашивание, остаются неокрашенные участки цитоплазмы; 3-я степень – большое количество гранул красителя в цитоплазме, высокая интенсивность окраски; 4-ая степень – гранулами красителя заполнена вся цитоплазма, неокрашенных участков нет, интенсивность окраски наибольшая, часто покрывается ядро.

Полученный цифровой материал обрабатывался статистически с определением достоверности наблюдаемых изменений с помощью критерия Стьюдента при $P < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки функционального состояния нейтрофилов коров в динамике проведенного исследования представлены в табл. 1.

Как видно из данных, представленных в табл. 1, до начала скармливания пробиотика фагоцитарный показатель у коров в контрольной и экспериментальной группе достоверно не отличался и находился в пределах физиологических значений. Через 4 месяца в экспериментальной группе отмечалось заметное, на 26,7%, увеличение числа нейтрофилов, способных проявлять фагоцитарную активность, тогда как в контрольной группе заметных изменений показателя фагоцитарной активности нейтрофилов не регистрировалось. Результаты оценки фагоцитарного показателя, полученные через месяц после окончания скармливания пробиотика «Био-20», позволяют говорить о сохранении положительного эффекта пробиотика у коров экспериментальной группы.

Фагоцитарный индекс как у экспериментальных, так и контрольных животных на протяжении эксперимента не изменялся и находился в пределах нормативных значений.

Результаты оценки кислород-зависимой бактерицидной активности нейтрофилов с помощью НСТ-теста показали, что в отсутствие стимуляции число НСТ-позитивных нейтрофилов не превысило $17,8 \pm 0,5\%$ и не обнаруживало различий между контрольной и экспериментальной группой во все сроки наблюдений. Внесение в пробы крови коров контрольной и экспериментальной группы зимозана обусловило достоверно значимое по сравнению с базальным уровнем повышение числа оксидазно активных нейтрофилов, что указывает на наличие высокого адаптационного резерва этого защитного механизма. При этом до начала эксперимента достоверных различий между экспериментальной и контрольной группой не определялось. В контрольной группе на протяжении всех сроков наблюдения количество НСТ-позитивных нейтрофилов достоверно не изменялось и колебалось в пределах от 46,4% до 51,2%. В экспериментальной группе в условиях стимуляции зимозаном через 4 месяца скармливания пробиотиком наблюдалось достоверное на 11,2% увеличение числа НСТ-положительных нейтрофилов. Через месяц после прекращения скармливания пробиотика это увеличение сохранилось и составило 12,6%. Одновременно в экспериментальной группе регистрировалось достоверное увеличение индекса стимуляции нейтрофилов (табл. 1).

Кислород-независимая микробицидность нейтрофилов периферической крови определялась по уровню содержащихся

в них катионных белков, которые занимают одно из ведущих мест в реализации и координации неспецифических защитных реакций организма. Недостаток катионных белков в нейтрофилах приводит к резкому снижению неспецифической резистентности организма [5, 6]. Результаты оценки содержания катионных белков представлены в виде среднего цитохимического коэффициента (СЦК). Как видно, значения цитохимического коэффициента во все наблюдаемые сроки в контрольной и экспериментальной группах достоверно не изменялись и находятся в пределах физиологической нормы (табл. 1). Отсутствие межгрупповых различий и достоверных изменений со стороны катионных белков во все сроки наблюдений, очевидно, обусловлены тем, что их содержание не зависит от стимуляции нейтрофилов и определяется количеством биологически активных веществ, синтезированных в период гранулоцитопоза в красном костном мозге [10].

Результаты оценки показателей функционального состояния нейтрофилов у телят в динамике сроков исследования представлены в табл. 2.

Как видно из данных, представленных в табл. 2, перед началом выпаивания процентное содержание нейтрофилов, способных поглощать латекс, в контрольной и экспериментальной группах телят достоверно не отличалось и находилось в диапазоне нормативных значений. Через 2 месяца выпаивания и через месяц после прекращения выпаивания в экспериментальной группе отмечается достоверное, на 33,5%, увеличение числа фагоцитирующих нейтрофилов. В контрольной группе в указанные сроки достоверного изменения фагоцитарного показателя не зарегистрировано.

Поглотительная способность нейтрофилов, как показывают значения фагоцитарного индекса (ФИ), перед началом эксперимента не имела существенных межгрупповых различий и в контрольной группе во все сроки наблюдения сохранялась на уровне первоначальных значений. В экспериментальной группе через 2 месяца выпаивания пробиотика отмечается достоверное на 47,5% увеличение среднего числа поглощаемых нейтрофилом частиц латекса. Через месяц после прекращения приема пробиотика эффект стимуляции поглотительной способности нейтрофилов у телят экспериментальной группы сохранялся.

Результаты оценки кислород-зависимой активности нейтрофилов в препаратах нативной крови не выявили заметных

межгрупповых различий в содержании НСТ-положительных клеток. В условиях стимуляции зимозаном перед началом эксперимента также не определялось межгрупповых отличий в содержании НСТ-положительных клеток (+НСТ индуцированный). При этом в экспериментальной группе через 2 месяца выпаивания препаратом «Био-20» отмечено достоверное (на 14,2%) увеличение НСТ-положительных клеток (+НСТ индуцированный) по сравнению с первоначальными значениями с сохранением указанного различия через месяц после окончания приема препарата. Одновременно выявлено достоверное уве-

личение индекса стимуляции (ИС) нейтрофилов. В контрольной группе содержание НСТ-положительных клеток (+НСТ индуцированный) не изменялось на протяжении всех сроков наблюдений. Не обнаружено также достоверных изменений индекса стимуляции нейтрофилов.

Оценка кислород-независимой бактерицидности нейтрофилов показала, что во все сроки наблюдения значения среднего цитохимического коэффициента у животных экспериментальной и контрольной групп достоверно не изменялись и находились в пределах нормативных значений.

Таблица 1

Показатели функционального состояния нейтрофилов коров (M ± m)

Показатели	группы (n = 7)	Перед началом скармливания	Через 4 месяца	Через месяц после окончания скармливания
ФП, %	контрольная	48,7 ± 2,3	49,5 ± 2,2	47,7 ± 1,8
	экспериментальная	49,4 ± 1,5	62,6 ± 5,8*	64,3 ± 3,1*
ФИ у. е.	контрольная	5,3 ± 0,5	5,8 ± 0,5	5,3 ± 0,4
	экспериментальная	5,4 ± 0,7	5,5 ± 0,3	5,9 ± 0,1
+НСТ спонтанный %	контрольная	17,6 ± 1,8	17,3 ± 1,5	17,5 ± 2,7
	экспериментальная	17,8 ± 1,5	17,20 ± 2,4	17,3 ± 2,5
+НСТ индуцированный %	контрольная	46,4 ± 3,1	48,4 ± 1,7	51,2 ± 2,3
	экспериментальная	48,2 ± 3,8	59,4 ± 2,6*	60,8 ± 2,3*
ИС (у.е.)	контрольная	2,3 ± 0,2	2,4 ± 0,2	2,5 ± 0,3
	экспериментальная	2,5 ± 0,2	3,3 ± 0,2*	3,5 ± 0,2*
СЦК (у.е.)	контрольная	1,77 ± 0,06	1,72 ± 0,08	1,72 ± 0,06
	экспериментальная	1,73 ± 0,05	1,78 ± 0,08	1,77 ± 0,06

Примечание. * достоверные изменения по сравнению с началом скармливания, P < 0,05.

Таблица 2

Показатели фагоцитарной и бактерицидной активности нейтрофилов у телят (M ± m)

Показатели	Группы (n = 7)	Перед началом выпаивания	Через 2 месяца после выпаивания	Через месяц после окончания выпаивания
ФП, %	контрольная	38,7 ± 2,4	40,5 ± 2,1	37,7 ± 1,8
	экспериментальная	39,4 ± 2,5	52,6 ± 2,6*	54,3 ± 4,1*
ФИ у. е.	контрольная	6,3 ± 0,7	6,8 ± 0,5	6,3 ± 0,4
	экспериментальная	5,9 ± 0,4	8,7 ± 0,3*	7,9 ± 0,1*
+НСТ спонтанный, %	контрольная	11,6 ± 0,8	14,3 ± 1,5	15,5 ± 1,7
	экспериментальная	12,8 ± 1,5	13,3 ± 2,4	16,3 ± 2,2
+НСТ индуцированный, %	контрольная	36,4 ± 2,7	38,4 ± 2,4	37,2 ± 2,3
	экспериментальная	38,2 ± 3,3	52,4 ± 2,8*	50,4 ± 3,1*
ИС (у.е.)	контрольная	3,1 ± 0,3	2,9 ± 0,2	2,8 ± 0,3
	экспериментальная	3,1 ± 0,2	4,3 ± 0,4*	3,8 ± 0,3*
СЦК (у.е.)	контрольная	1,42 ± 0,04	1,46 ± 0,02	1,47 ± 0,05
	экспериментальная	1,47 ± 0,03	1,49 ± 0,02	1,51 ± 0,06

Примечание. * достоверные изменения по сравнению с началом выпаивания, P ≤ 0,05.

Заключение

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что применение пробиотика «Био-20» способствует повышению фагоцитарной способности нейтрофилов крови как у взрослых коров, так и у телят, полученных от этих коров, о чем свидетельствует достоверное увеличение фагоцитарного показателя и фагоцитарного индекса у экспериментальных животных и отсутствие достоверных изменений у животных контрольной группы.

Применение кормовой добавки «Био-20» оказывает достоверно подтвержденный эффект на показатели кислород-зависимой бактерицидности, способствуя увеличению резерва оксидантно активных нейтрофилов крови коров и телят, полученных от этих коров и практически не влияет на содержание катионных белков.

В целом полученные результаты позволяют рекомендовать использование кормовой добавки «Био-20» в качестве средства, укрепляющего неспецифический иммунитет как взрослых коров, так и телят.

Список литературы

1. Сысуюев В.А., Василенко Т.Ф., Русаков Р.В. Проблемы развития молочного животноводства в России и современные подходы к их решению // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 3.; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ problemy-razvitiya-molochnogo-zhivotnovodstva-v-rossii-i-sovremennye-podhody-k-ih-resheniyu> (дата обращения: 25.10.2018).
2. Соколенко Г.Г., Лазарев Б.П., Миньченко С.В. Пробиотики в рациональном кормлении животных // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2015. № 1 (5). С. 72–78.
3. Смирнова Л.В., Субботин С.В., Хоштария Е.Е. Применение дрожжевого пробиотика в рационах молочных коров // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 2 (14). С. 37–42.
4. Ушакова Н.А., Некрасов Р.В., Правдин В.Г., Кравцова Л.З., Бобровская О.И., Павлов Д.С. Новое поколение пробиотических препаратов кормового назначения // Фундаментальные исследования. 2012. № 1. С. 184–192.
5. Пигаревский В.Е. Зернистые лейкоциты и их свойства. М.: Медицина, 1978. 128 с.
6. Плехова Н.Г., Сомова Л.М. Современное представление о роли клеток врожденного иммунитета при инфекционных болезнях // Бюллетень СО РАМН. 2011. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-predstavlenie-o-rol-i-kletok-vrozhdennogo-immuniteta-pri-infektsionnyh-boleznyah> (дата обращения: 27.11.2018).
7. Андрюков Б.Г., Сомова Л.М., Тимченко Н.Ф. Исследование температурозависимых молекулярных механизмов развития инфекций – ключ к созданию современных профилактических средств (обзор) // Современные технологии в медицине. 2016. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-temperaturozavisimyh-molekulyarnyh-mehanizmov-razvitiya-infektsiy-klyuch-k-sozdaniyu-sovremennyh-profilakticheskikh> (дата обращения: 27.11.2018).
8. Маянский Д.Н., Цырендоржиев Д.Д., Макарова О.П. Диагностическая ценность лейкоцитарных тестов: методические рекомендации. Новосибирск, 1996. 73 с.
9. Жибинов В.И. Применение лизосомально-катионного теста // Ветеринария. 1983. № 8. С. 30–31.
10. Долгушин И.И., Андреева Ю.С., Савочкина А.Ю. Нейтрофильные ловушки и методы оценки функционального статуса нейтрофилов. М: Изд-во РАМН, 2009. 208 с.

УДК 579.63

**САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ
БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ ВОДОЕМОВ В МЕСТАХ РЕКРЕАЦИИ****Михеев П.В.***Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,
Мытищи, e-mail: pvm-fscg@yandex.ru*

В работе приведены данные о санитарно-микробиологическом состоянии почв и песчаных пляжей в береговой зоне у водоемов, используемых для купания, рыбалки и отдыха населения. Антропогенное воздействие на окружающую среду ведет к загрязнению почвы техногенными, химическими и биологическими отходами. Микробиологическое загрязнение является приоритетным фактором, оказывающим влияние на качество почв селитебных зон. Общая численность микроорганизмов, численность микромицетов и актиномицетов были повышенными в сравнении с этими же показателями в холодное время года. Высокий индекс санитарно-показательных бактерий свидетельствовал о эпидемической опасности почв береговой полосы. Оценено санитарно-гигиеническое значение в загрязнении почвы *E. coli*, *Enterococcus* spp., *Clostridium* spp. Учет численности этих бактерий более информативен для оценки эпидемической опасности почвы по сравнению с косвенным показателем численности колиформных бактерий. В эксперименте изучена динамика изменения численности штаммов кишечных бактерий, внесенных в образцы почвы. Численность *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* резко снижалась к 20 суткам. Штамм *Salmonella typhimurium* выделялся из образцов до 42 суток эксперимента. Предложено оценивать степень эпидемической опасности пляжей на основании учета количества видов кишечной палочки и энтерококков.

Ключевые слова: береговая полоса водоемов, биологическое загрязнение почв, условно-патогенные бактерии, эпидемическая опасность почв

**SANITARY-MICROBIOLOGICAL STATE OF SOIL COASTAL ZONE
OF RESERVOIRS IN PLACES OF RECREATION****Mikheev P.V.***F.F. Erisman Federal Scientific Centre of Hygiene, Mytishchi, e-mail: pvm-fscg@yandex.ru*

The paper presents data on the sanitary and microbiological condition of soils and sandy beaches in the coastal zone near water bodies used for swimming, fishing and recreation. Anthropogenic impact on the environment leads to soil contamination by man-made, chemical and biological waste. Microbiological contamination is a priority factor affecting the quality of soils in residential areas. The total number of microorganisms, the number of micromycetes and actinomycetes were increased in comparison with the same indicators in the cold summer. The high index of sanitary-indicative bacteria testified to epidemic danger of soils of a coastal strip. The sanitary and hygienic value in soil contamination *E. coli*, *Enterococcus* spp., *Clostridium* spp. was estimated. Taking into account the number of these bacteria is more informative for assessing the epidemic danger of the soil compared to an indirect indicator of the number of coliform bacteria. The dynamics of changes in the number of strains of intestinal bacteria introduced into soil samples was studied in the experiment. The number of *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* decreased sharply by 20 days. The strain of *Salmonella typhimurium* was isolated from the samples up to 42 days of the experiment. It was proposed to assess the degree of epidemic danger of beaches based on the number of types of *E. coli* and enterococci.

Keywords: coastal zone of reservoirs, soil biological contamination, opportunistic bacteria, epidemic danger of soil

Важными базовыми компонентами качества жизни человека являются природно-климатические условия и состояние окружающей среды. Биологические и социальные потребности в отдыхе населения обеспечивают ландшафты с наличием рек, прудов, водохранилищ и других водных объектов. Почвенный покров береговой полосы водоемов, массово посещаемых горожанами и сельским населением, испытывает повышенную нагрузку, депонируя различные биологические, химические и техногенные отходы. Биологическое загрязнение способствует попаданию и сохранению в верхнем слое почвы потенциально патогенных микроорганизмов. Такие почвы с высокой вероятностью могут быть причиной заболеваний инфекционной природы, а почвы

пляжей и песок могут являться резервуаром инфекции [1, 2]. Объективная оценка степени опасности почвы береговой полосы водоемов, используемых в рекреационных целях, возможна при изучении соотношения приоритетных фекальных индикаторных и патогенных микроорганизмов, с учетом антропогенного загрязнения и процессов самоочищения, с возможностью сохранения в почве вирулентных штаммов патогенных бактерий в дозе, достаточной для заражения человека контактным путем.

Цель исследования: в ходе полевых исследований изучить численность санитарно-показательных кишечных бактерий, сальмонелл и основных физиологических групп микроорганизмов в почвах береговой полосы водоемов и песчаных пляжей

в условиях высокой антропогенной нагрузки. На основании полученных данных и результатов лабораторного эксперимента по скорости элиминации из почвы штаммов кишечных бактерий оценить роль отдельных микробиологических показателей в эпидемиологической оценке почвы.

Материалы и методы исследования

Пробы почвы для микробиологических исследований отбирали на участках береговой полосы прудов, водохранилищ и малых рек в городской и сельской местности. Критериями выбора участков и времени отбора почв для исследования являлись теплый период года, массовое посещение берегов водоемов населением, биологическое загрязнение в виде пищевых отходов и бытового мусора, наличие домашних и диких животных (собаки, гуси, крысы, утки, чайки, вороны), присутствие в водоохранной зоне автотранспорта.

Изученные почвы в Московской области (М.О.) можно в целом охарактеризовать как аллювиальные супесчаные и суглинистые дерново-подзолистые, в Бел-

городской (Б.О.), Курской (К.О.) и Воронежской (В.О.) областях – аллювиальные суглинистые чернозёмные.

Отбирали точечные пробы поверхностного (0–5 см) слоя почвы методом конверта в стерильные полиэтиленовые пакеты для доставки в лабораторию. В 1–2 суточной объединенной пробе определяли численность сапрофитных бактерий на почвенном агаре (ОМЧ²²), численность актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре, численность плесневых грибов – на среде Чапека. Интенсивность биологической нагрузки на почву оценивали по следующим показателям: численность потенциально патогенных бактерий – на ГРМ-агаре при 37 °С в течение суток (ОМЧ³⁷); численность колиформных бактерий – на среде Эндо с идентификацией вида; численность *E. coli* – по образованию кислоты и газа на лактозной среде при 44 °С и росту на хромогенном агар для *E. coli*; численность энтерококков – на агаре с канамицином, эскулином и азидом натрия; численность сульфитредуцирующих бактерий, в том числе *Cl. perfringens* – на SPS агаре. Численность патогенных бактерий родов *Salmonella* выявляли в 10 г навеске почвы методом обогащения с высевом на висмут сульфит агар или XLD агар, и идентификацией до рода.

Санитарно-микробиологическая характеристика почвы в зонах рекреации в летний период

Почва различных посещаемых зон рекреации	Показатели интенсивности биологической нагрузки на почвы, КОЕ/г					Показатели биологической активности почвы, КОЕ/г		
	Колиформы/ <i>E. coli</i>	Энтерококки	<i>Cl. perfringens</i>	<i>Salmonella</i> spp.	ОМЧ ³⁷	Микромицеты	Актиномицеты	ОМЧ ²²
Москва, пляж Серебряный бор	10/не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	4,0x10 ⁵	1,2x10 ²	2,1x10 ⁴	3,2x10 ⁵
Москва, пляж пруда «Путяевский»	10/не обн.	10	10/обн.	Не обн.	1,4x10 ⁵	4,2x10 ³	3,3x10 ⁴	1,2x10 ⁵
Москва, берег Джамгаровского пруда	100/не обн.	10	10/обн.	Не обн.	2,7x10 ⁶	5,8x10 ⁴	6,1x10 ⁵	4,4x10 ⁶
М.О., пляж Жестылевского водохранилища	1000/100	100	10/ обн.	Не обн.	3,5x10 ⁵	1,3x10	1,2x10 ⁴	7,3x10 ⁵
М.О., берег рыболовного пруда	10/не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	1,2x10 ⁶	3,6x10 ⁴	5,5x10 ⁵	6,4x10 ⁶
М.О., берег р. Веля	1000/100	10	10/обн.	Не обн.	9,2x10 ⁶	2,7x10 ⁴	1,1x10 ⁶	1,6x10 ⁶
М.О., берег р. Имбушка	1000/100	100	100/ обн.	Не обн.	3,8x10 ⁶	1,0x10	1,0x10 ⁴	8,0x10 ⁶
М.О., берег р. Яуза в парке	1000/100	100	100/ обн.	Не обн.	1,7x10 ⁶	5,2x10 ²	4,6x10 ⁵	1,4x10 ⁶
М.О., берег р. Яуза рядом с автотрассой	1000/100	20	500/ обн.	Не обн.	2,2x10 ⁶	8,0x10 ²	1,3x10 ⁵	2,7x10 ⁶
М.О., пляж Пяловского водохранилища	10/не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	4,2x10 ⁵	1,3x10 ²	2,2x10 ⁴	6,8x10 ⁵
Б.О., берег р. Сейм	100/не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	4,3x10 ⁶	6,3x10 ⁴	4,4x10 ⁶	7,3x10 ⁶
Б.О., пляж пруда «Попов верх»	1000/100	100	100/ обн.	Обн.	1,0x10 ⁵	3,2x10 ⁴	2,1x10 ⁴	2,0x10 ⁵
К.О., пляж на старице р. Сейм	100/10	10	10/обн.	Не обн.	5,5x10 ⁶	3,6x10 ⁴	4,2x10 ⁶	2,7x10 ⁶
К.О., берег р. Речица	100/10	10	10	Не обн.	1,6x10 ⁵	1,1x10 ²	1,5x10 ⁴	1,9x10 ⁵
В.О., пляж пруда в с. Медвежье	1000/100	10	100/ обн.	Не обн.	2,6x10 ⁶	1,0x10 ⁴	1,5x10 ⁶	2,8x10 ⁶

В лабораторном эксперименте использовали 4 типа изученных ранее аллювиальных почв. В 500 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито 3 мм, вносили и равномерно распределяли суточную культуру типовых штаммов *Salmonella typhimurium* № 5715 *E. coli* ATCC 25922, *Enterococcus faecalis* ССМ 4224 из расчета 1 мл бактериальной суспензии плотностью 10 ед. по отраслевому стандарту мутности на 1 кг почвы. Динамику изменения численности типовых штаммов внесенных бактерий на фоне развития сапрофитных микроорганизмов изучали методом мембранной фильтрации почвенной суспензии с последующим ингибированием фильтров на чашках Петри с селективными питательными средами.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведено сравнение структуры микробного сообщества разных почв береговой полосы и пляжей в момент максимального антропогенного загрязнения (таблица).

Общая численность микроорганизмов, численность микромицетов и актиномицетов были повышенными в сравнении с этими же показателями в холодное время лета. Пик этих показателей совпадал с погодными условиями, благоприятными для отдыха населения на природе. Почва обследованной территории была сильно уплотнена, растительность – в значительной степени вытоптана, имелись остатки мусора и следы кострищ. В силу того, что почвы пляжно-купальных зон обычно легкого состава, численность микроорганизмов в них была ниже по сравнению с почвами ландшафтов, прилегающих к водоему. Численность актиномицетов была выше в луговых и лесных почвах, богатых гумусом, по сравнению с песчаными почвами пляжей и вытоптанymi участками береговой полосы. Численность плесневых грибов также была низкой в песчаной почве, и значительной в дерново-луговой почве, что в большей мере связано не с биологическим загрязнением, а минерализацией органических полимеров.

Более ярко биологическое загрязнение почвы проявилось на изменении численности бактерий – индикаторов санитарного состояния почвы. Известно, что в микробном сообществе почвы в местах наибольшей концентрации населения повышается частота доминирования представителей семейства *Enterobacteriaceae* [3]. Численность колиформных в жаркий период года была выше на два порядка, численность энтерококков – почти в 4 раза. В массовом количестве высевались потенциально патогенные бактерии: *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus intermedius*, *Staphylococcus lentus*, *Streptococcus gordonii*, *Erysipelothrix rhusiopathiae* и другие.

Одним из основных показателей, признанных для оценки качества почвы при

выявлении биологического загрязнения, является индекс бактерий группы кишечной палочки. Практически все обследованные почвы берегов водоемов и рекреационных зон были обсеменены колиформными бактериями, что позволило оценить ее эпидемическую опасность [4]. Семь почв пляжей и береговой полосы водоемов оценены как «чрезвычайно опасные». Среди бактерий, выделенных из этих почв, идентифицированы *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Pantoea agglomerans*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Raouitella planticola*, *Citrobacter amalonaticus*, *Citrobacter freundii*, *Yersinia enterocolitica*. Патогенные *Salmonella* spp. выделены в единственном образце почвы береговой полосы пруда, используемого для рыболовства и разведения гусей, т.е. изначально непригодного для купания. Отсутствие сальмонелл и других патогенных кишечных бактерий в почвах может свидетельствовать как о несовершенстве метода выделения или утере способности кишечных патогенных бактерий из почвы к росту на питательных средах, так и об их отсутствии или о диффузности загрязнения. Г.П. Калина указывает на возможность длительного сохранения, и даже размножения сальмонелл в почвах [5].

Несколько рекреационных участков по качеству почвы охарактеризованы как «чистые», несмотря на высокую антропогенную нагрузку – численность колиформных бактерий – до 10 КОЕ/г, при отсутствии *E. coli*, энтерококков и патогенных бактерий.

Качество почв рекреационных зон также оценили по численности бактерий *E. coli*, *Enterococcus* spp., *Cl. perfringens*. Полученные численные значения значительно (на 1–2 порядка) ниже индекса колиформных бактерий, и вероятно, более адекватно описывают степень загрязненности почв рекреационных зон. По индексу энтерококков качество исследованных почв укладывается в диапазоне от «чистая» до «умеренно опасная».

Современным микробиологическим лабораториям под силу проводить идентификацию не отдельной условной физиологической группы бактерий, объединенной по признаку ферментации лактозы, а конкретных видов бактерий, что позволяет повысить точность оценки опасности почвы. Энтерококки (*Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*), кишечная палочка (*Escherichia coli*), сульфитредуцирующие клостридии (*Clostridium perfringens*) – это санитарно-показательные бактерии, достаточно легко идентифицируемые из объектов окружающей среды. Эти микроорганизмы являются обитателями кишечного тракта теплокровных животных и человека. Они

могут некоторое время сохраняться в почвах и воде, особенно загрязненных ксенобиотиками. Их обнаружение всегда однозначно свидетельствует о фекальном загрязнении. Численность энтерококков, кишечной палочки в почвах береговой полосы и пляжей достаточно часто совпадает (одного порядка), что делает привлекательным использование этих микроорганизмов для оценки эпидемиологической опасности почвы. Эта же аргументация применима к *Clostridium perfringens* с оговоркой, что оценка степени загрязненности ведется за более продолжительный период времени в связи с высокой устойчивостью в почве спор этого микроорганизма.

Остается открытым вопрос о количестве патогенных бактерий в почве пляжей и береговой полосы мест рекреации, достаточном для контактного или перорального способа заражения человека. В литературе имеется достаточно сведений о распространении возбудителей инфекции в пляжных песках [6]. Рассчитано, что посетитель пляжа через частицы песка, прилегающего к коже и загрязненного бактериями, может перенести $6,0 \times 10^5$ КОЕ энтерококков [7]. Число КОЕ при однократном приеме пищи, способное вызвать пищевую токсикоинфекцию, составляет 10^8 – 10^9 для *Citrobacter* spp., *Klebsiella* spp., 10^6 – 10^{10} – для энтеровирулентных *E. coli*, 10^5 – 10^9 – для *Salmonella* spp. [8].

Экспериментальное микробиологическое исследование выживаемости представителей кишечных бактерий, внесенных в почву, содержащую питательные вещества, микроэлементы и естественную аутохтонную микрофлору, показало закономерный процесс снижения их численности (рис. 1).

Численность сапрофитных бактерий (ОМЧ) продолжала оставаться на стабильно высоких уровнях – в пределах 10^5 – 10^6 КОЕ/г и имела тенденцию к увеличению

при дополнительном внесении в почву некоторых ксенобиотиков. Численность штаммов *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, внесенных в дозе 10^3 – 10^4 КОЕ/г, к 20 суткам эксперимента снижалась до нуля.

Источником загрязнения почв сальмонеллами и другими кишечными бактериями в естественных условиях являются преимущественно фекалии диких и домашних животных и птиц. В естественных условиях динамика численности патогенных бактерий, пассированных через организм животных, может отличаться по сравнению с динамикой выживаемости в почве типовых штаммов, длительно пребывающих на питательных средах, делая почвы опасным объектом заражения человека. Скорость элиминации *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* из почвы была значительно выше по сравнению с *Salmonella typhimurium*. Количество сальмонелл на протяжении первой недели изменялось незначительно по сравнению с первоначально внесенной дозой заражения во всех типах почв (рис. 2).

На 42 день эксперимента сальмонеллы не обнаруживались в почвах, в том числе при высеве из сред обогащения. Более продолжительное время сальмонеллы сохраняли свою жизнеспособность в почвах тяжелого механического состава с большим количеством мелких илистых частиц. Высокая устойчивость сальмонелл в естественных почвах может являться причиной необъективной оценки санитарного состояния почвы по косвенным показателям интенсивности биологической нагрузки. Под влиянием техногенного биологического воздействия условно-патогенные и патогенные бактерии выявляются даже за границами санитарно-защитных зон предприятий, изменяя структуру микробного сообщества [9, 10].

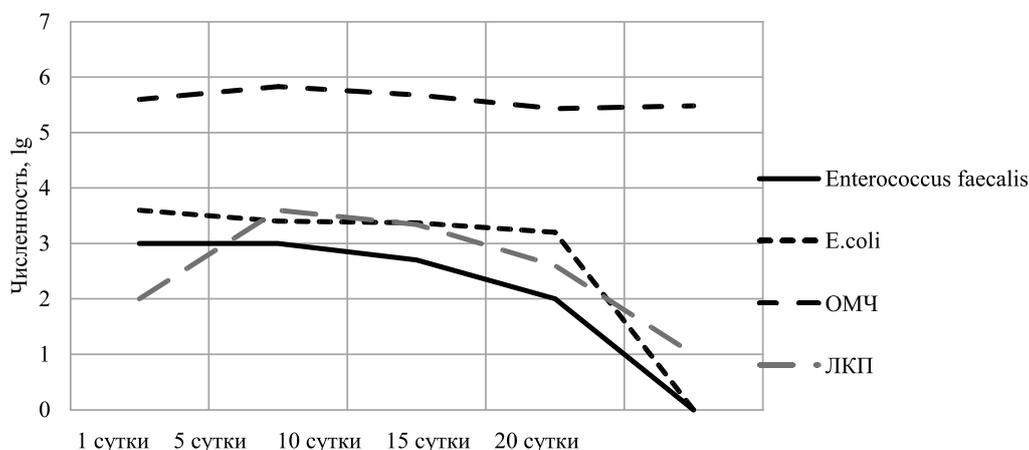


Рис. 1. Формирование искусственного микробиоценоза в дерновой слабообразованной глинистой почве



Рис. 2. Изменение численности типового штамма *Salmonella typhimurium* в различных пойменных почвах

Необходимо с осторожностью делать выводы об отсутствии патогенных бактерий в почве только на основании отсутствия санитарно-показательных видов.

Заключение

Загрязненные кишечными бактериями почвы и пляжи береговой полосы водоемов, наряду с загрязненными поверхностными водами, могут являться причиной заболеваемости населения в результате пляжно-купального отдыха. Биологическое загрязнение почв различного типа носит диффузный характер и увеличивается в местах скопления отдыхающих при прогреве почвенного покрова. В местах массового посещения людей в почвах и пляжах береговой полосы стабильно идентифицируются санитарно-показательные бактерии, но не обнаруживаются или очень редко выявляются бактериальные патогены. Методы прямого выделения из почв *E. coli*, *Enterococcus* spp. более информативны для оценки эпидемической опасности почвы по сравнению с косвенным показателем численности колониальных бактерий.

Сальмонеллы более устойчивы к неблагоприятным условиям в почве по сравнению с кишечной палочкой и энтерококками, в связи с чем нужно с осторожностью интерпретировать результаты качества почвы на основании численности санитарно-показательных микроорганизмов.

Список литературы

1. Андреева Е.Е. Санитарно-эпидемиологическая оценка качества почвы г. Москвы как возможного фактора риска здоровью населения // Анализ риска здоровью. 2016. № 4. С. 72–79.
2. Guidelines for safe recreational water environments. Microbial aspects of beach sand quality. URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe1-chap6.pdf (дата обращения: 17.11.2018).
3. Лысак Л.В. Бактериальные сообщества городских почв: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2010. 46 с.
4. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 16 с.
5. Калина Г.П. Сальмонеллы в окружающей среде. М.: Медицина, 1978. 160 с.
6. Halliday E., Gast R.J. Bacteria in beach sands: an emerging challenge in protecting coastal water quality and bather health. Environ. Sci. Technol. 2011. vol. 45(2). P. 370-379.
7. Elmir S.M., et al. Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water. Water Res. 2007. vol. 41. P. 3–10.
8. МР 2.1.10.0067-12. Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 44 с.
9. Байтелова А.И., Зинюхин Г.Б., Ермолаева А.А. Оценка воздействия патогенных микроорганизмов на качество почвенного покрова территории, прилегающей к ЗАО «Птицефабрика Оренбургская» // Вестник ОГУ. 2010. № 10 (116). С. 94–97.
10. Замотаев И.В., Михеев П.В. Изменение микробиологических показателей почв в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции (Белгород, 15–22 августа 2016 г.). Москва – Белгород: Издательство БелГУ, 2016. С. 220–221.

ПРОТЕАЗЫ КАК ВЕРОЯТНЫЕ ФАКТОРЫ РЕГУЛЯЦИИ КОНКУРЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ СРЕДИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Перельгин В.В., Похиленко В.Д., Левчук В.П., Калмантаев Т.А., Светоч Э.А.
ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии»,
Оболensk, e-mail: vpokhil003@yandex.ru

В исследованиях использовали штаммы *Enterococcus mundtii* и *Bacillus lentus*, продуцирующие две разные бактериоциноподобные субстанции (BLIS) – первая действует на Gr(+), вторая на Gr(-) бактерии. Показано, что при совместном выращивании бактерий антагонизма между штаммами не наблюдается. Однако после смешивания фракций BLIS, выделенных из двух штаммов, происходила утрата активности полученного раствора лишь в отношении *Listeria monocytogenes*, сохраняясь к *Escherichia coli* и к другим Gr(-) бактериям. Причиной этому могла быть протеаза, секретируемая штаммом бацилл. Установлено, что протеолитический фермент присутствовал только во фракции BLIS *B. lentus*, наличие которого определялось по гидролизу казеина. Активность протеазы подавлялась при температуре 80 °С и полностью исчезала после добавления специфического ингибитора сериновых протеаз – фенилметилсульфонил фторида (PMSF). Поэтому в термически обработанной смеси BLIS по причине инактивации фермента бактериоцидная активность против *L. monocytogenes* полностью сохранялась. Полученные данные указывают на то, что секретируемая протеаза бацилл штамма *B. lentus* может выступать в роли экзогенного регулятора активности бактериоцинов и других низкомолекулярных пептидов в микробиоценозах.

Ключевые слова: бактерии, антагонизм, протеаза, бактериоцин

PROTEINASES AS PROBABLY FACTORS OF REGULATION OF COMPETITIVE RELATIONS AMONG MICROORGANISMS

Perelygin V.V., Pokhilenko V.D., Levchuk V.P., Kalmantaev T.A., Svetoch E.A.
State Research Center for Applied Microbiology & Biotechnology (FBIS SRCAMB),
Obolensk, e-mail: vpokhil003@yandex.ru

The studies used the strains *Enterococcus mundtii* and *Bacillus lentus*, producing two different bacteriocin-like substances (BLIS) – the first acts on Gr(+), the second on Gr(-) bacteria. It is shown that there is no antagonism between the strains when the bacteria are grown together. However, after mixing the BLIS fractions isolated from the two strains, the activity of the resulting solution was lost only in relation to *Listeria monocytogenes*, retained to *Escherichia coli* and to other Gr(-) bacteria. The reason for this could be a protease secreted by a strain of bacilli. It was found that the proteolytic enzyme was present only in the BLIS *B. lentus* fraction, the presence of which was determined by the hydrolysis of casein. The protease activity was suppressed at 80 °C and completely disappeared after the addition of a specific inhibitor of serine proteases, phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF). Therefore, in the thermally treated BLIS mixture due to inactivation of the enzyme, the bacteriocidal activity against *L. monocytogenes* was completely preserved. The obtained data indicate that the secreted protease of bacilli of the *B. lentus* strain can act as an exogenous regulator of the activity of bacteriocins and other low molecular weight peptides in microbiocenoses.

Keywords: bacteria, antagonism, protease, bacteriocin

В последние десятилетия из-за обострившейся в мире проблемы множественной лекарственной устойчивости микроорганизмов очень актуальны исследования по разработке новых антимикробных средств, лишенных недостатков традиционных антибиотиков. В лечении и профилактике кишечных заболеваний в медицине и ветеринарии все чаще используются комплексные биопрепараты пробиотических бактерий, в том числе продуцентов антимикробных пептидов и протеолитических ферментов. Вместе с тем влияние продуктов биосинтеза пробиотиков на конкурентные отношения в микробиоценозе, на развитие резистентности у патогенов к антимикробным соединениям исследовано не в полной мере [1, 2].

Нами из окружающей среды были выделены новые штаммы *Enterococcus* и *Ba-*

cillus, синтезирующие антимикробные бактериоциноподобные субстанции (BLIS) и другие биологически активные вещества [3, 4]. При этом антимикробные соединения штамма *E. mundtii* ингибируют рост некоторых грамположительных (Gr+) бактерий, а штамма *B. lentus* – в большей части грамотрицательных (Gr-) бактерий.

Создание композиции штаммов, обладающих способностью синтезировать антимикробные вещества, полезные метаболиты и ферменты, является важной научной и практической задачей на пути получения лечебно-профилактических препаратов пробиотической направленности.

Цель исследования: изучение характера и условий взаимодействия BLIS продуцируемых представителями энтерококков – *E. mundtii* и бацилл – *B. lentus*, взятых как

по отдельности, так и в сочетании, в отношении тестовых бактериальных патогенов (Gr+) и (Gr-) природы.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – штаммы *E. mundtii* B-7424, *B. lentus* B-7150, их метаболиты, обладающие антимикробной и протеолитической активностью, а также тестовые штаммы бактериальных патогенов – *Listeria monocytogenes* 766, *Salmonella Enteritidis* rif92 и *Escherichia coli* R3, полученные из Государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур «ГКПМ – Оболенск».

Пассирование штамма *E. mundtii* B-7424 осуществляли на питательном агаре (ГРМ-агар, ГНЦ ПМБ, Россия), на MRS-агаре (HiMedia, India) при температуре 36 °С в течение 24 ч. Глубинное культивирование штамма *E. mundtii* проводилось в 10 л ферментере BioFlo 110 (NBS, США) с 5,0 л питательной среды следующего состава (г/л): гидролизат казеина – 10,0; дрожжевой экстракт – 5,0; глюкоза – 20,0; натрия цитрат – 5,0; натрия хлорид – 5,0; магния сульфат – 0,5; калий фосфорнокислый 2-зам. – 1,0 (рН среды – 6,8 ед.). Выращивание осуществляли при температуре 36 °С с перемешиванием, аэрацией и рН-стабилизацией (5,9–6,0 ед. рН) в течение 14–16 ч.

Пассирование штамма *Bacillus lentus* B-7150 осуществляли на питательном агаре (ГРМ-агар, ГНЦ ПМБ, Россия) и на Starch Agar (HiMedia, India) при температуре 29–30 °С в течение 36–48 ч. Глубинное культивирование штамма проводилось в 10 л ферментере BioFlo 110 (NBS, США) с 5,0 л питательной среды следующего состава (г/л): дрожжевой экстракт – 5,0; глюкоза – 1,5; аммоний виннокислый – 7,0; калий хлористый – 1,0, калий фосфорнокислый 2-зам. – 2,6; глицерин – 1,0; магний сернокислый – 0,1. рН среды 7,2. Выращивание проводили при температуре 29–30 °С в условиях интенсивной аэрации и перемешивания в течение 24–36 ч.

Выделение из культуральной жидкости (КЖ) фракции, ответственной за бактерицидную активность, производилось методом мембранной фильтрации на половолоконном картридже типа AP (Россия, Кириши) с отсеиванием по молекулярному весу в 100 кДа. Бесклеточные фильтраты смешивали с безводным дихлорметаном (ДХМ) в отношении 1:1. Смесь гомогенизировали при помощи миксера (700 об/мин, 5 мин) при комнатной температуре, полученную эмульсию разливали в металлические стаканы и центрифугировали (5000 об/мин, 10 мин) для разделения водной и гидрофобной фаз. Интерфазную пленку, формируемую на границе раздела фаз, извлекали из центрифужного стакана после удаления сначала верхней – водной фазы, а затем нижней фазы – ДХМ. Пленочную массу, включающую грубую BLIS, высушивали конвективно при температуре 60 °С, взвешивали и помещали в герметичный флакон для последующего использования.

Определение бактерицидной активности пленочной массы проводили с использованием свежеприготовленных газонов тест-штаммов путем титрования проб в серии двукратных разведений (спот-тест). Активность пленочной массы, обозначенной далее как фракция BLIS, выражали как АЕ/мл или АЕ/мг. Присутствие в пленочной массе антимикробных пептидов и их молекулярную массу определяли по результатам электрофореза в полиакриламидном геле (Tris-tricine SDS-PAGE, ПААГ) с использованием мо-

лекулярных маркеров (Page Ruler) и последующего биотестирования выявленных полос, состоящем в наложении на ПААГ питательного агара с *L. monocytogenes* и *E. coli* [3, 4].

Наличие и активность протеаз, присутствующих в составе BLIS, оценивали по размерам зон гидролиза казеина, образующихся после нанесения проб на поверхность молочного агара с различными показателями рН (6-10). Специфичность протеаз и их классификация делались на основе рН-зависимости и чувствительности к ингибитору сериновых протеаз – фенилметилсульфонил фториду (PMSF, Sigma-Aldrich).

Для сравнения использован коммерческий препарат субтилизин (Carlsberg, Sigma-Aldrich) с концентрацией 1 мг/мл, протеолитическая активность которого была принята за 100%. Опыты проведены на агаровой среде с казеином (1%) в чашках Петри.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного пакета BioStat v5 (Analyst Soft, США).

Результаты исследования и их обсуждение

Взаимоотношения штаммов *E. mundtii* и *B. lentus* были исследованы в опытах перекрестного антагонизма при совместном выращивании на плотной питательной среде ГРМ с дрожжевым экстрактом (рис. 1).

Штаммы *E. mundtii* и *B. lentus*, как следует из фотографий (рис. 1, а и б), не проявляют антагонизма в отношении друг друга независимо от того, были ли они выращены на простой (ГРМ), обогащенной (ГРМ-ДЭ) либо специальной (MRS) средах. Использование MRS среды для культивирования бактерий дает возможность вырабатывать клетками органические кислоты и перекись водорода, являющиеся известными природными антисептиками.

Для оценки уровня биосинтеза BLIS штаммы *E. mundtii* и *B. lentus* были выращены в ферментерах, затем пробы КЖ разделены центрифугированием или ультрафильтрацией на биомассу и бесклеточный ферментат. Из ферментата методом межфазного разделения с использованием ДХМ далее выделяли фракции BLIS. В полученных BLIS-EM и BLIS-BL уточняли молекулярные массы, оценивали противомикробную активность, выявляли присутствие протеаз, а также исследовали взаимное влияние компонентов BLIS в смешанных композициях.

При биотестировании ПААГ рост тестовых штаммов *L. monocytogenes* и *E. coli* отсутствовал вокруг полос с молекулярными массами 5–6 кДа и 4 кДа соответственно. При этом полоса на 5–6 кДа соответствует BLIS *B. lentus*, а на 4 кДа – BLIS *E. mundtii*, что полностью совпадает с данными полученными нами ранее [3, 4]. Характерно, что BLIS-EM подавлял рост только грамположительных листерий, а BLIS-BL – преимущественно грамотрицательных бактерий,

в частности, *E. coli* и *Salmonella* Enteritidis. Таким образом, было подтверждено, что исследованные штаммы *E. mundtii* и *B. lentus* являются продуцентами низкомолекулярных бактериоциноподобных пептидов.

Мы предположили, что отсутствие взаимного антагонизма бацилл и энтерококков могло быть связано с наличием в среде факторов, отвечающих за развитие резистентности к бактериоцинам. Таким фактором, учитывая пептидную природу исследуемых бактериоцинов, могли быть протеолитические ферменты в КЖ. В этой связи проведено изучение протеолитической активности фракций BLIS из бесклеточных супернатантов *B. lentus* и *E. mundtii* с использованием 1% казеина в составе агар.

Протеолизная активность исходных образцов BLIS оценивалась после термообработки (+80 °С, 30 мин) и после действия ингибитора PMSF. В качестве контроля использовали коммерческую протеазу – субтилизин (Sigma-Aldrich). Полученные результаты по гидролизу казеина с помощью сериновой протеазы *B. lentus* и субтилизина представлены на рис. 2. Во фракции BLIS-BL действительно присутствует протеаза, сходная по активности с коммерческим ферментом субтилизином (Sub). Активность протеазы из BLIS-BL, так же как и субтилизина, подавлялась под воздействием высокой температуры (80 °С) и в присутствии ингибитора сериновых протеаз – PMSF. Факт подавления протеолитической актив-

ности фракции BLIS-BL в результате обработки ингибитором PMSF и реакция на термообработку свидетельствуют о том, что фермент *B. lentus* с высокой долей вероятности является сериновой протеазой.

Одновременно было отмечено, что фракция BLIS-EM не способна осуществлять гидролиз казеина, следовательно, штамм *E. mundtii* В-7424 не является продуцентом секретируемой протеазы, а производит бактериоцин, чувствительный к действию химотрипсина и действующий на (Гр+) бактерии. Основные функциональные свойства фракций BLIS, вырабатываемых штаммами *B. lentus* и *E. mundtii*, представлены в таблице.

Далее были проведены опыты по изучению возможности протеолитического разрушения бактериоцина BLIS *E. mundtii* в смеси фракций в условиях воздействия ингибитора PMSF и высокой температуры (80 °С). Для этого регидратированные сухие фракции BLIS-EM и BLIS-BL в концентрации 10 мг/мл по отдельности и в смеси (1:1) были разделены на четыре равные части. Все они были подвергнуты 60 минутному воздействию температуры и pH: +30 °С и +80 °С, pH 6 и pH 10 соответственно. Для оценки антимикробного действия обработанные пробы BLIS в объеме по 10 мкл наносили на поверхность свежесейянного газона тестового штамма *L. monocytogenes* в чашке Петри, которые инкубировали при 37 °С в течение 20 ч.

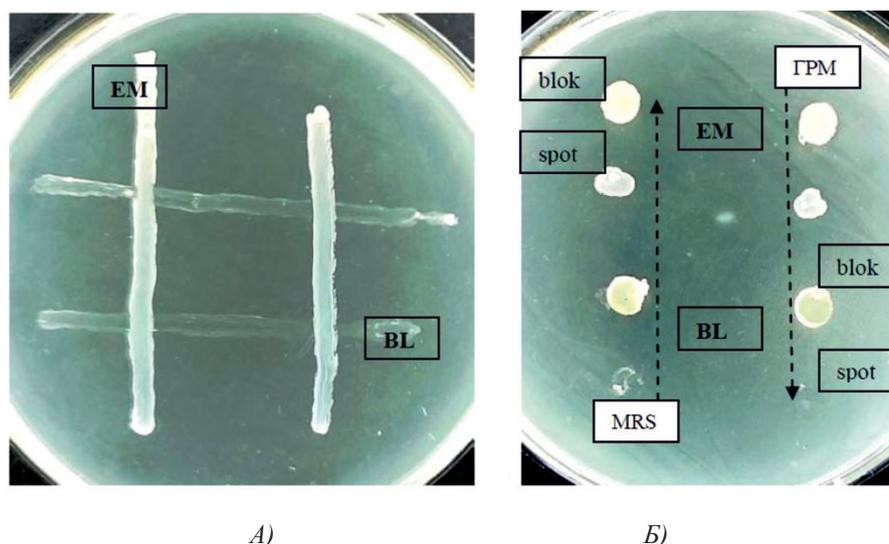


Рис. 1. Исследование взаимного антагонизма штаммов *E. mundtii* и *B. lentus* на ГРМ-агаре методами перпендикулярных штрихов (а) блоков и спотов (б). А – чашка засеяна двумя вертикальными штрихами штамма энтерококков (EM) и перпендикулярно им сделаны два штриха штамма бацилл (BL); учет результатов производился через 24 ч. Б – на свежий газон *B. lentus* нанесены блоки (bloks) и споты (spots) суточных культур *E. mundtii* (EM) и *B. lentus* (BL), выращенных на MRS-агаре (левая вертикаль) и на ГРМ-ДЭ агаре (правая вертикаль)

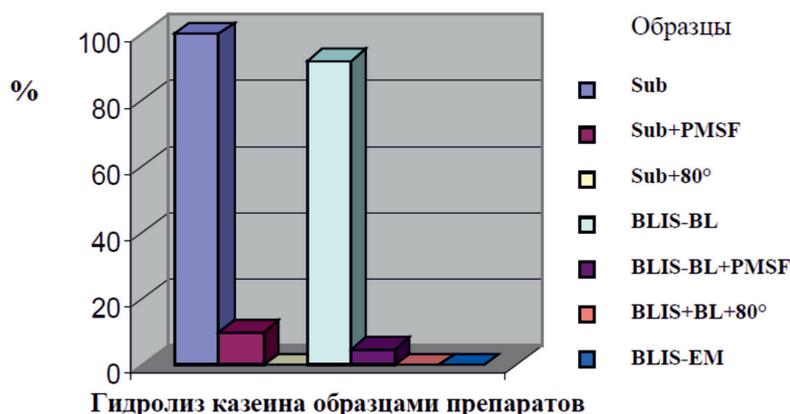


Рис. 2. Сравнение протеолитической активности фракций BLIS и коммерческой протеазы – субтилизина. Споты образцов препаратов в объеме 10 мкл наносили на чашку Петри с агаром, содержащим 1% казеина, и после суточной инкубации при 30 °С определяли диаметры зон гидролиза; для субтилизина размер зоны гидролиза принимали за 100%. Sub – субтилизин (1 мг/мл); Sub+PMSF – субтилизин, обработанный ингибитором PMSF; Sub+80° – термообработанный при 80 °С Sub; BLIS-BL – образец BLIS из *B. lentus*; BLIS-BL+PMSF – то же, обработанный ингибитором PMSF; BLIS+BL+80° – то же, термообработанный при 80 °С; BLIS-EM – образец BLIS из *E. mundtii*

Характеристика фракций BLIS, выделенных из *E. mundtii* и *B. lentus*

Фракции BLIS из	Устойчивость		Спектры активности*	Продукция секретир-уемой протеазы	Действие химотрипсина (10 мг/мл)
	в зоне pH	при нагреве			
<i>E. mundtii</i>	2–10	до 100 °С	Гр(+)	нет	разрушающее
<i>B. lentus</i>	2–10	до 100 °С	Гр(-)	есть	не действует

(*) против Гр(+) *Listeria monocytogenes*, Гр(-) *E. coli*, *Salmonella Enteritidis*

Из представленных на рис. 3 данных, видно, что BLIS *E. mundtii* дает четкую зону ингибирования (проба 1) *L. monocytogenes*, чего не наблюдается у BLIS *B. lentus* (проба 2); после смешивание образцов BLIS-EM и BLIS-BL из-за протеазы бацилл происходит полная потеря антилистериозной активности (проба 3); активность бактериоцина против *Listeria* остается, если к BLIS-EM добавляли прогретый (80 °С) BLIS-BL (проба 4) или проводили обработку PMSF (проба 5).

Известно, что устойчивость у бактерий к бактериоцинам, в отличие от антибиотиков, практически не развивается [5–7]. Однако еще в 1967 г. был установлен факт и природа резистентности некоторых видов *Bacillus* к низину – первому из недавно открытых бактериоцинов. Было определено, что устойчивость была обусловлена ферментом, названным «низиназой». При этом сам фермент не влиял на антибиотики пептидной природы – полимиксин, грамицидин или бацитрацин, но инактивировал лишь лантионин-содержащие бактериоцины – низин и субтилиин.

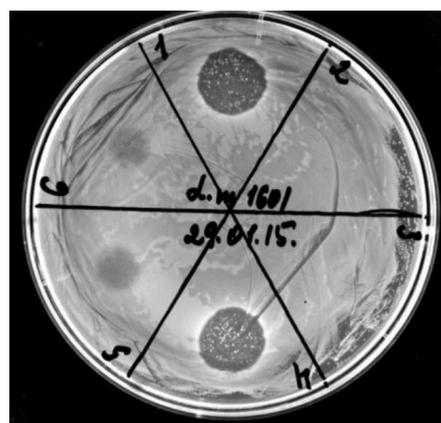


Рис. 3. Бактерицидная активность фракций BLIS-EM и BLIS-BL против *Listeria monocytogenes*. 1 – BLIS из *E. mundtii*; 2 – BLIS из *B. lentus*; 3 – BLIS-EM+BLIS-BL (1:1); 4 – BLIS-EM+BLIS-BL после прогрева при 80 °С; 5 – BLIS-EM+BLIS-BL после обработки PMSF; 6 – PMSF. Объемы проб BLIS – по 10 мкл

Таким образом, причиной инактивации бактериоцина *E. mundtii* В-7424 в составе

композиции является секретируемая протеаза *B. lentus* B-7150, которая может быть инактивирована нагреванием (80°C) или добавлением PMSF.

Заключение

В работе показано свойство штамма *B. lentus* B-7150 вырабатывать сериновую протеазу, способную инактивировать бактериоцин штамма *E. mundtii* B-7424. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными, объясняющими причину устойчивости некоторых видов бактерий к антимикробным веществам. Кроме литического действия на низкомолекулярный пептид, из которого, собственно, и состоит бактериоцин *E. mundtii*, показаны и основные свойства сериновой протеазы *B. lentus* – ее разрушаемость при нагревании (80°C), а также от воздействия специфического ингибитора – PMSF.

Полученные данные дают основание предполагать, что секретируемые протеазы бацилл могут выступать в роли факторов регулирования активности антимикробных пептидов в микробиоме.

Список литературы

1. Бухарин О.В., Семенов А.В., Черкасов С.В. Характеристика антагонистической активности пробиотических бактерий при их взаимодействии // Клинический микробиологический журнал. 2010. Т. 12. № 4. С. 347–352.
2. Sudhakar Reddy R., Swapna L.A., Ramesh T., Rajesh Singh T., Vijayalaxmi N., Lavanya R. Bacteria in Oral Health – Probiotics and Prebiotics A Review. Int. J. Biol. Med. Res. 2011. № 2 (4). P. 1226–1233. DOI: 10.12691/jfs-5-2-1.
3. Храмов В.М., Калмантаев Т.А., Садикова Г.Т., Перельгин В.В., Похиленко В.Д. Антимикробный комплекс пептидной природы *Enterococcus mundtii* PPHS-5/13 // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 1 (29). С. 37–55.
4. Похиленко В.Д., Перельгин В.В., Садикова Г.Т., Чукина И.А., Лунева Н.И., Мицевич И.П. Штамм *Bacillus lentus* – продуцент бактериоциноподобной субстанции антимикробного действия и способ получения бактериоциноподобной субстанции // Патент РФ № 2530552. Подача заявки: 2013-03-04. Публикация патента: 10.10.2014. Бюл. № 28.
5. Abriouel H., Franz C.M., Omar N.B., Gálvez A. Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. FEMS Microbiology Reviews. 2011. Vol. 35. P. 201–232.
6. Cotter P.D., Ross R.P., Hill C. (February). Bacteriocins – a viable alternative to antibiotics. Nature Reviews. Microbiology. 2013. № 11 (2). P. 95–105. DOI: 10.1038/nrmicro2937. PMID 23268227.
7. Nawrocki K.L., Crispell E.K., McBride Sh.M. Antimicrobial Peptide Resistance Mechanisms of Gram-Positive Bacteria. Antibiotics (Basel). 2014. № 3 (4). P. 461–492. DOI: 10.3390/antibiotics3040461.

УДК 796.82:615.82

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО МАССАЖА В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БОРЦОВ КЛАССИЧЕСКОГО СТИЛЯ

Черницына Н.В.

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, e-mail: cherni62@mail.ru

Проведена оценка эффективности использования кратковременного (10-минутного) оперативно-восстановительного массажа в ходе учебно-тренировочного занятия борцов классического стиля. Оценка была проведена на основании анализа результатов следующих методов исследования: оценка специальной работоспособности методом броска манекена через спину, оценка состояния опорно-двигательного аппарата методами миотометрии, контрольного упражнения «наклон туловища вперед в положении сидя», исследование сердечно-сосудистой системы методами пульсометрии, тонометрии. В исследовании принимали участие 12 спортсменов мужского пола, в возрасте 17–18 лет, из них 4 кандидата в мастера спорта России, представители классического стиля борьбы. Они были разделены на две группы: экспериментальную и контрольную. Измерения проводили двукратно: до начала тренировки и в ходе тренировки после кратковременного (10-минутного) отдыха. Для восстановления испытуемых экспериментальной группы использовали операционно-восстановительный массаж, отдых в контрольной группе был пассивным. Установлено, что внедрение оперативно-восстановительного массажа в ходе проведения учебно-тренировочного занятия, а не после него может обеспечить улучшение функциональных показателей спортсмена, повысить его общую и специальную работоспособность, адаптационный потенциал, технико-тактические возможности и тем самым привести к повышению спортивной результативности.

Ключевые слова: оперативно-восстановительный массаж, борцы, классическая борьба, тренировочная деятельность, специальная работоспособность, спурт

THE APPLICATION OF THE RESTORATIVE MASSAGE IN THE PROCESS OF TRAINING ACTIVITY OF CLIPICAL STYLE FIGHTERS

Chernitsyna N.V.

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: cherni62@mail.ru

The evaluation of the effectiveness of the use of short-term (10-minute) restorative massage during the training session of the fighters of the classical style. The assessment was carried out on the basis of an analysis of the results of the following research methods: assessment of special performance by throwing a dummy over the back, assessment of the state of the musculoskeletal system using myotonometry, the control exercise «torso forward in sitting position», study of the cardiovascular system by the methods of pulsometry, tonometry. The study involved 12 male athletes, aged 17-18 years, of which 4 are candidates for the master of sports of Russia, representatives of the classical style of wrestling. They were divided into two groups: experimental and control. The measurements were performed twice: before the start of the workout and during the workout after a short (10 minute) rest. To restore the subjects of the experimental group, an operation-restorative massage was used; rest in the control group was passive. It has been established that the introduction of an operative-restorative massage during training sessions, and not after it, can provide an improvement in the athlete's functional performance, increase its general and special performance, adaptive capacity, technical and tactical capabilities, and thereby lead to an increase in sports performance.

Keywords: restorative massage, wrestlers, classic wrestling, training activity, special performance, spurt

Техника классической борьбы предусматривает 3-минутные схватки между соперниками. Утомление в данном виде спорта в первую очередь связано с угнетением центральной нервной системы [1, с. 60]. В нервных центрах развивается состояние торможения, функциональная подвижность их понижается, что исключает возможность воспроизведения импульсов в первоначальном ритме (движения замедляются, «сковываются»).

Кроме того, 3-минутная мышечная работа протекает в условиях анаэробного гликолиза. В работающих мышцах происходит накопление молочной кислоты, которая снижает эластичность мышц. Изменение упруго-эластических свойств мышц ведет к уменьшению амплитуды и скорости движений.

Эффективным средством восстановления организма спортсмена является массаж [2, с. 116]. Он способствует скорейшей разблокировке утомленных нейронов, ответственных за обеспечение движений, снижает стресс или повышает активность, в зависимости от состояния спортсмена. Кроме того, массажные приемы ускоряют удаление молочной кислоты из мышцы, в связи с чем восстанавливаются ее упруго-эластические свойства, и спортсмен снова готов к активным действиям.

Массаж широко практикуется до или после тренировки [3, с. 390; 4, с. 99]. Однако в связи с вышеизложенным кажется очевидной необходимость использования элементов массажа в процессе тренировки, между тренировочными схватками [5, с. 14]. В этом

случае проведение классического массажа невозможно, так как он требует длительно-го времени. Оперативно-восстановительный массаж должен быть проведен в течение 5–10 минут, чтобы спортсмен снова смог вернуться к тренировке (или к бою).

В связи с этим целью исследования явилось теоретическое обоснование, разработка и проверка в эксперименте эффективности методики оперативно-восстановительного массажа в процессе тренировочной деятельности борцов классического стиля.

Материалы и методы исследования

В исследовании принимали участие 16 спортсменов мужского пола, в возрасте 17–18 лет, из них 4 кандидата в мастера спорта России, представители классического стиля борьбы. Они были разделены на две группы: экспериментальную и контрольную. Измерения проводили двукратно: до начала тренировки и в ходе тренировки после кратковременного (10-минутного) отдыха. Для восстановления испытуемых экспериментальной группы использовали операционно-восстановительный массаж, отдых в контрольной группе был пассивным.

Поставленные перед исследованием задачи решались с помощью следующих методов исследования:

- оценка специальной работоспособности методом броска манекена через спину,
- оценка состояния опорно-двигательного аппарата методами кистевой динамометрии, миоэлектрометрии, контрольного упражнения «наклон туловища вперед в положении сидя»,
- исследование сердечно-сосудистой системы методами пульсометрии, тонометрии.

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки специальной работоспособности борцов использовали метод: бросок чучела через спину захватом рук и шеи. Вес чучела 10–12 кг.

В соответствии с принятой методикой, испытуемые экспериментальной и контрольной групп в течение 3 минут выполняли три теста. В каждом тесте за 40 секунд одной минуты выполняются 4 броска, за остальные 20 секунд – спурт с максимальным количеством бросков.

Трехминутный тест применялся дважды с интервалом 10 минут. Перед вторым испытанием в течение 10 минут применялся пассивный отдых в контрольной группе и различное сочетание приемов восстановительного массажа в экспериментальной группе.

Оценивали среднее количество бросков за один спурт, общее количество бросков в спуртах, динамику количества бросков за каждый тест в испытании.

После кратковременного пассивного отдыха спортсмены контрольной группы показали результат ниже исходного, в экспериментальной группе (с массажем), напротив, количество бросков за 1 спурт увеличилось (в обеих группах на уровне тенденции). Что косвенно указывает на остаточное утомление в контрольной группе и полное восстановление в экспериментальной. Так же различались и показатели общего количества бросков в спуртах (табл. 1).

Более информативен анализ динамики количества бросков при трехкратном выполнении теста специальной выносливости. В первом испытании у борцов контрольной и экспериментальной группы результаты 1, 2 и 3 тестов практически не отличались: от первого ко второму тесту показатели держались на одном уровне, к третьему – они уменьшились, что говорит о начавшемся утомлении, однако различия установлены на уровне тенденции (табл. 2).

У испытуемых контрольной группы после пассивного отдыха количество бросков в 1-м тесте не достигло уровня 1-го теста предыдущего испытания, т.е. полного восстановления работоспособности во время отдыха не произошло. Во 2-м тесте количество бросков уменьшилось, а в 3-м – снизилось достоверно. Таким образом, выраженное утомление спортсменов контрольной группы привело к относительно низким показателям плотности атакующих действий в соревновательных схватках.

Таблица 1

Влияние оперативно-восстановительного массажа на показатели спурта борцов классического стиля ($M \pm m$)

Показатели	Экспериментальная группа			Контрольная группа			$P_1 < 0,05$
	1 испытание	2 испытание	$P < 0,05$	1 испытание	2 испытание	$P < 0,05$	
Среднее количество бросков за 1 спурт	$9 \pm 1,3$	$11 \pm 3,06$	1,3	$8 \pm 1,47$	$6 \pm 1,43$	1,23	2,2*
Общее количество в спуртах	$75 \pm 2,3$	$88 \pm 3,5$	2,4*	$77 \pm 3,5$	$70 \pm 4,7$	2,3*	2,25*

Примечание: p – достоверность различий внутри группы после эксперимента; p1 – достоверность различий показателей между группами после эксперимента.

Таблица 2

Динамика количества бросков при трехкратном выполнении испытания специальной выносливости ($M \pm m$)

Группы		Тест 1	Тест 2	Тест 3	$P_1 < 0,05$
		Количество бросков	Количество бросков	Количество бросков	
Экспериментальная	1 испытание	29 ± 3,34	30 ± 1,67	26 ± 2,05	2,4*
	2 испытание	30 ± 2,1	31 ± 2,7	29 ± 3,2	
	$P < 0,05$	0,3	0,2	1,9	
Контрольная	1 испытание	31 ± 2,9	30 ± 4,1	27 ± 2,6	
	2 испытание	29 ± 1,9	27 ± 3,6	20 ± 2,3	
	$P < 0,05$	2,1	1,8	2,25*	

Примечание: p – достоверность различий внутри группы после эксперимента; p_1 – достоверность различий показателей между группами после эксперимента.

Таблица 3

Влияние оперативно-восстановительного массажа на показатели опорно-двигательного аппарата борцов классического стиля ($M \pm m$)

Показатели	Экспериментальная группа			Контрольная группа			$P_1 < 0,05$
	до тренировки	после отдыха с массажем	$P < 0,05$	до тренировки	после отдыха без массажа	$P < 0,05$	
Гибкость позвоночника, см	13 ± 2,8	16 ± 1,98	2,03	12 ± 1,78	14 ± 2,02	0,8	2,1
Тонус трапецевидной мышцы, мВ	15,45 ± 1,9	17,2 ± 1,5	1,02	14,87 ± 2,1	21,45 ± 3,1	2,3*	2,4*

Примечание: p – достоверность различий внутри группы после эксперимента; p_1 – достоверность различий показателей между группами после эксперимента.

У испытуемых экспериментальной группы после перерыва с массажем выявлено полное восстановление по показателю количества бросков в первом тесте. Во втором и третьем тестах показатели плотности атакующих действий держались на одном уровне, снижения работоспособности не отмечено.

При сравнении результатов 3-го теста во 2-м испытании определены достоверные различия в количестве бросков, а следовательно, и в специальной работоспособности между спортсменами контрольной и экспериментальной групп.

Таким образом, сравнительный анализ специальной работоспособности борцов показал очевидное преимущество атлетов, сочетающих отдых между схватками с проведением оперативно-восстановительного массажа.

Функциональное состояние опорно-двигательного аппарата является лимитирующим фактором в спортивной результативности борцов. Быстрота и амплитуда движений определяются силой и упруго-

эластическими свойствами мышц, состоянием связок и сухожилий, подвижностью в сочленениях костей.

Исследование показало, что в процессе тренировки гибкость позвоночника возросла (в результате разогревания мышц и связок) в обеих группах испытуемых, однако в экспериментальной группе это увеличение стало более выраженным (табл. 3).

Важным показателем для борцов является тонус трапецевидной мышцы, как одной из самых нагружаемых в данном виде спорта. После физических упражнений и массажа у атлетов экспериментальной группы тонус трапецевидной мышцы умеренно повысился, наблюдалась активация мышцы. У представителей контрольной группы тонус мышцы повысился достоверно, что может свидетельствовать о мышечном спазме (в результате нарушения импульсации либо накопления в ней лактата). В итоге, между группами выявлено достоверное различие по данному показателю, что подтверждает благотворное влияние массажа между тренировочными схватками.

Таблица 4

Влияние оперативно-восстановительного массажа на показатели кардио-респираторной системы борцов классического стиля ($M \pm m$)

Показатели	Экспериментальная группа			Контрольная группа			$P_1 < 0,05$
	до тренировки	после отдыха с массажем	$P < 0,05$	до тренировки	после отдыха без массажа	$P < 0,05$	
ЧСС	$73 \pm 3,56$	$70 \pm 2,78$	1,2	$72 \pm 2,34$	$81 \pm 3,02$	2,3*	2,43*
АДС	$120 \pm 4,5$	$115 \pm 5,7$	1,31	$117 \pm 2,56$	$127 \pm 3,21$	2,53*	3,23*
АДД	$75 \pm 2,56$	$70 \pm 2,11$	1,01	$73 \pm 3,46$	$80 \pm 2,67$	2,2*	2,6*
КЭК	$3375 \pm 30,54$	$3150 \pm 32,11$	3,1*	$3168 \pm 43,2$	$3807 \pm 38,9$	3,7*	3,74*

Примечание: p – достоверность различий внутри группы после эксперимента; p_1 – достоверность различий показателей между группами после эксперимента.

Кардио-респираторная система в любом виде физической деятельности определяет успешность спортсмена, поскольку обеспечивает необходимым количеством кислорода организм и работающие в усиленном режиме мышцы.

В ходе исследования было определено, что после тренировки и различного типа отдыха показатели кровообращения (частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (АДС), диастолическое артериальное давление (АДД) достоверно различались между экспериментальной и контрольной группами. У испытуемых экспериментальной группы произошло полное восстановление, в контрольной группе уровень данных показателей остался повышенным в результате остаточного утомления (табл. 4).

В экспериментальной группе после тренировки и отдыха с массажем произошло достоверное снижение коэффициента экономичности кровообращения (КЭК), что говорит о повышении экономичности кровообращения. В контрольной группе изначально показатель был лучше (экономичнее, чем в экспериментальной), но после тренировки и последующего пассивного отдыха он достоверно повысился, что соответствует напряжению работы сердца и может привести к явлению перетренированности.

Столь очевидное различие могло быть вызвано только применением оперативно-восстановительного массажа в кратковременные периоды отдыха во время учебно-тренировочного занятия.

Таким образом, внедрение оперативно-восстановительного массажа в ходе проведения учебно-тренировочного занятия, а не после него может обеспечить улучшение функциональных показателей спортсмена, повысить его адаптационный потенциал, повысить технико-тактические возможно-

сти и тем самым привести к повышению спортивной результативности.

Выводы

1. При изучении изменения функционального состояния организма борцов выявлено, что специфические нагрузки максимальной и субмаксимальной интенсивности (трехминутный тест) вызывают утомление и приводят к снижению показателей специальной работоспособности, которое не устраняется до исходного уровня в течение 10 минут пассивного отдыха. В связи с этим рекомендуется использовать в процессе тренировки кратковременный оперативно-восстановительный массаж длительностью 5–10 минут.

2. Сравнительный анализ специальной работоспособности борцов по показателям – среднее количество бросков за 1 спурт, общее количество в спуртах, динамика количества бросков при трехкратном выполнении теста ($P < 0,05$) – показал очевидное преимущество атлетов, сочетающих отдых между схватками с проведением оперативно-восстановительного массажа.

3. Между группами выявлено достоверное различие по показателю миотонометрии трапецевидной мышцы: у атлетов экспериментальной группы после физических упражнений и массажа тонус мышцы повысился умеренно, у представителей контрольной группы тонус мышцы возрос достоверно, что может свидетельствовать о мышечном спазме либо о накоплении в ней лактата.

4. После тренировки и различного типа отдыха показатели кровообращения (ЧСС, АДС, АДД) были достоверно выше в контрольной группе, коэффициент экономичности кровообращения также достоверно повысился до уровня, превышающего нормативные значения.

Список литературы

1. Мелешков В.А. Спортивный массаж как способ сохранения хорошего физического состояния и высокой спортивной работоспособности у спортсменов контактных видов спорта // Современные здоровьесберегающие технологии: материалы международной научно-практической конференции. Орехово-Зуево: Государственный гуманитарно-технологический университет, 2015. С. 59–67.
2. Учасов Д.С. Физиологические эффекты массажа и его роль в спортивной практике // НАУКА-2020. Орел: Межрегиональная общественная организация Академия безопасности и выживания, 2018. № 3 (19). С. 115–119.
3. Салеев Э.Р., Ракоед Ю.С. Массаж как часть спортивной тренировки // Аллея науки. Издательство: ИП Шелистов
- Денис Александрович (Издательский центр «Quantum»), 2017. Т. 2. № 16. С. 389–392.
4. Касимова Д.А. Особенности методики тренировочного массажа в отдельных видах спорта // European research. 2017. № 1 (24). С. 99–100.
5. Бирюков А.А. Методика русского спортивного разминочного массажа у гандболистов высокого класса в условиях соревнований // Лечебная физическая культура: достижения и перспективы развития: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. М.: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК)», 2017. С. 12–17.

УДК 634.11(575.2)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФОРМЫ ДИКОЙ ЯБЛОНИ В КЫРГЫЗСТАНЕ**¹Керимкулова Н.Т., ¹Тургунбаев К.Т., ²Шалпыков К.Т.**¹*Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина,
Бишкек, e-mail: kuban_tur@mail.ru;*²*Институт химии и фитотехнологий НАН КР, Бишкек, e-mail: alhor6464@mail.ru*

В статье приводятся данные исследований популяций дикорастущих яблонь, представленных тремя видами: яблоня Сиверса (*Malus Sieversii*), яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al. et An. Theod*) и яблоня Недзвецкого (*Malus Niedzwetzkyana Dieck*) и разнообразие их форм, встречающихся в Чуйской долине. Приводится описание видов и форм дикой яблони. Особенности роста, развития и урожайности форм по различным высотным поясам. Орехово-плодовые леса, расположенные на юге Кыргызской республики, достаточно богаты формовым разнообразием дикорастущих яблонь, плоды с плюсовыми формами, обнаруженные нами в ходе исследований, перспективны для использования их при выведении комплексно-устойчивых к биотическим и абиотическим условиям среды, а также обладают отличными вкусовыми и товарными качествами плодов культурных сортов яблонь. Из-за тяжелых социально-экономических условий местного населения в переходный период после распада СССР это уникальное и бесценное генетическое разнообразие находится под угрозой исчезновения, характеризуется почти полным отсутствием естественного возобновления популяций. Исходя из этого, сохранение и рациональное использование даров природы имеет важное научное, эстетическое и экологическое значение для эволюции и развития орехово-плодовых лесов юга Кыргызстана.

Ключевые слова: дикорастущая яблоня, яблоня Сиверса, яблоня Кыргызов, яблоня Недзвецкого, популяции, генетические ресурсы

PERSPECTIVE FORMS OF WILD APPLE-TREE IN KYRGYZSTAN**¹Kerimkulova N.T., ¹Turgunbaev K.T., ²Shalpykov K.T.**¹*Kyrgyz National Agricultural University K.I. Scryabin, Bishkek, e-mail: kuban_tur@mail.ru;*²*Institute of chemistry and phytotechnology of NAS KR, Bishkek, e-mail: alhor6464@mail.ru*

Data of researches of populations of the wild-growing apple-trees presented by three types are provided in article: Sivers's (*Malus Sieversii*) apple-tree, apple-tree of Kyrgyz (*Malus kirghisorum Al. et An. Theod*) and Nedzvetsky's apple-tree (*Malus Niedzwetzkyana Dieck*) and a variety of their forms which are found in the Chuya valley. Are provided the description of types and forms of a crab. Features of growth, development and productivity of forms on various high-rise belts. Walnut-fruit forests located in the south of the Kyrgyz Republic are quite rich in shaped diversity of wild apple trees, fruits with positive forms that we found in the course of research are promising for their use in breeding complex-resistant to biotic and abiotic environmental conditions, and also have excellent taste and product qualities fruits of cultivated varieties of apple trees. Due to the difficult socio-economic conditions of the local population in the transition period after the collapse of the USSR, this unique and invaluable genetic diversity is under the threat of extinction, the almost complete absence of the natural resumption of populations. Proceeding from this, the preservation and rational use of the gifts of nature has an important scientific, aesthetic and ecological importance for the evolution and development of the walnut-fruit forests of the south of Kyrgyzstan.

Keywords: wild-growing apple-tree, apple-tree of Siversi, apple-tree of Kyrgyz, Nedzvetsky's apple-tree, populations, genetic resources

В связи с глобальными изменениями климата остро стоят проблемы изучения биологического разнообразия, в том числе и разнообразия дикорастущих форм яблонь в орехово-плодовых лесах южного Кыргызстана, которые могут иметь важное значение для пловодов, занимающихся выведением новых сортов на основе изучения И.В. Мичурина. Он предавал исключительное значение привлечению дикорастущих видов и форм для работ по выделению новых сортов плодовых растений.

Плоды лучших форм дикой яблони не уступают по качеству некоторым районированным сортам. Генофонд дикой яблони может служить основой для создания зимостойких, засухоустойчивых, устойчивых к болезням и вредителям сортов. Использование диких яблонь в культуре дает народ-

ному хозяйству тысячи тонн ценного пищевого продукта – яблок.

Широко используется также яблоневая древесина. Яблони являются убежищем диких зверей и птиц. На базе дикорастущих яблонников создаются лесосады. Но особенно большое значение имеют яблоневые леса в научном отношении, как генетический фонд для селекционных работ, а также имеют большое значение для познания экологии, выявления путей адаптации к различным условиям среды, что является основой повышения продуктивности яблоневых насаждений рационального использования и сохранения.

Яблоня, как дикорастущая плодовая культура, известна на протяжении всей истории человечества. В диком виде яблоня встречается во многих странах мира. В при-

родных условиях известно около 150 видов дикорастущих яблонь, но только некоторые из них участвовали в образовании наших культурных сортов.

В последующем все эти ценные генетические материалы могут послужить ценным генетическим материалом для создания коллекции живых растений и в селекции [1, 2].

Цель исследования: поиск и изучение агробиологических свойств перспективных форм 3-х дикорастущих видов яблонь юга Кыргызстана.

Материалы и методы исследования

Популяция дикорастущих яблонь представлена тремя видами – яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al.et An. Theod.*), Сиверса (*Malus Sieversii*) и яблоня Недзвецкого (*Malus Niedzwetkyana Dieck.*) и большим разнообразием форм, среди которых есть и хозяйственно ценные признаки.

Яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al.et An. Theod.*) в Южном Кыргызстане распространена на высоте от 800–1000 до 1900–2000 м над уровнем моря. Массовое ее распространение наблюдается в нижних и средних под поясах (1400–1800 м над ур.м.). Отдельные деревья можно встретить даже на склонах и южных экспозициях. Преимущественно встречается на северных и северо-западных склонах. Обычно яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al.et An. Theod.*) встречается на опушках ореховых и кленовых лесов и является сравнительно теневыносливым растением, но иногда она образует более или менее чистые естественные яблоневые насаждения, которые, однако, чаще возникают на месте сведенных ореховых лесов и представляют собой по-видимому, вторичные явления. Приурочена яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al.et An. Theod.*) к богатым, мощным и относительно хорошо увлажненным черно-бурым почвам. На каменистых почвах растет плохо, поэтому по каменистым руслам рек и скалам это порода не встречается [3, 4].

Яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al.et An. Theod.*) относится к категории видов с большим генофондом, у которых еще интенсивно идет формообразовательный процесс.

В условиях Чуйской долины встречается яблоня Кыргызов (*Malus kirghisorum Al.et An. Theod.*), Недзвецкого (*Malus Niedzwetkyana Dieck.*), Сиверса (*Malus Sieversii*) – как культура.

Произрастающие дикие яблони Чуйской долины могут быть использованы для научного обоснования, приемов создания продуктивных яблоневых насаждений на горных склонах, в парфюмерном и фармацевтическом производстве, а также вносят определенный вклад в решении задач по введению дикорастущих видов в культуру.

Дикорастущие яблони изучались в странах Центральной Азии, в Крыму, в Закавказье многими исследователями и на Юге Кыргызстана [5–7].

Материалом для исследований служили дикорастущие виды яблонь юга Кыргызстана, проведенные авторами в течение длительного времени (2004–2016 гг.). Для полевых исследований были использованы общепринятые методики фенологических и агробиологических исследований. Фенологические наблюдения проводили по «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Климат в Чуйской долине резко континентальный, с сухим жарким летом, сухой осенью, малоснежной неустойчивой зимой, с резкими колебаниями температуры воздуха и краткой весной. Годовая сумма радиации и солнечного сияния в г. Бишкеке 2566 часов. В Чуйской долине лето жаркое, максимум температуры +40,6°C. Сухая осень сменяется неустойчивой холодной зимой с абсолютным минимумом –38,8°C. Весна начинается в марте, изобилует заморозками. Минусовая температура до –4°C отмечается иногда даже в мае. По многолетним данным, среднегодовая температура воздуха составляет +10°, самого холодного месяца –5,8°C и самого теплого +24,4°C. Средняя продолжительность безморозного периода 180 дней. Среднее количество осадков составляет 434 мм. Около 65% осадков выпадает в виде дождей в весенний период и в начале лета, 35% – в виде снега зимой. Самые засушливые месяцы – июль, август и сентябрь. Из-за частых оттепелей снежный покров неустойчив. Весной снег тает очень быстро. На протяжении года влажность воздуха колеблется от 79% в зимний период до 36% в летний. Среднегодовая относительная влажность воздуха 56–60% [9].

Почвы в Чуйской долине неодинаковые и меняются с увеличением высоты над уровнем моря. Нижнюю часть долины (500–700 м над уровнем моря) покрывают северные светлые сероземы. В пределах 750–1100 м над уровнем моря расположены подгорные равнины с обыкновенными сероземами, а выше них темные сероземы. На высоте 1200–1500 м межгорные долины покрыты темно-каштановыми почвами. Выше 1600 м над уровнем моря находится средне гумусовые и тучные черноземы.

Почвенно-климатические условия Чуйской долины благоприятны для возделывания культуры яблони Кыргызов (*M. kirghisorum*). Это дерево представляет собой до 12–14 м высотой, мезофильного облика с шатровидной, раскидистой кроной, серой, шероховатой корой. Годичные побеги, особенно ростовые, у яблони Кыргызов (*M. Kirghisorum*) длинные и тонкие, не ключие. Листья зеленые, тонкие, не кожистые, слабо опушенные с нижней стороны, до 10 см длиной, 5–6 см шириной, на волосистых черешках в 2–3 раза короче пластинки. Размеры проекции кроны зависит от лесорастительных условий и возраста дерева от 2,5х3 м до 12х12 м. Диаметр цветка от 3,6 до 6,8 см. Размеры плодов: мелкие, с диаме-

тром 2–3 см и весом до 25 г, средние, 3–4 см в диаметре и весом 35–40 г, крупные, 4–7 см в диаметре и до 80 г весом. Максимальный вес яблока 133 г. Созревание плодов у яблони Кыргызов у различных форм происходит в разные сроки. Плоды ранних форм созревают с июня по август, поздних – в конце сентября и в октябре, но основная масса яблонь плодоносит между этими крайними сроками и представлена среднеспелыми формами.

В Чуйской долине яблоня Кыргызов (*M. Kirghisorum*) встречается как культура и имеются следующие формы, которые нами были обнаружены при экспериментальных исследованиях:

Форма № 6. Дерево 5,5 высоты с диаметром 8 см. Плоды почти круглые, со средним весом 30,8 г, спелые яблоки несколько напоминают сорт Белый налив (рис. 1).



Рис. 1. Яблоня Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod), форма № 6

Форма № 7. Дерево 6 м высоты, диаметром 12 см. Плоды мелкие, со средним весом 20 г, плоско-круглой формы. По форме, ржавчине и даже вкусу напоминает сорт ренет Бурхарда, но размеры плодов намного меньше. Кожица тонкая, сплошь окрашенная – малиновая. Мякоть плода кисло-сладкая, приятная на вкус, сочная (рис. 2).



Рис. 2. Яблоня Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod), форма № 7

Форма № 9. Дерево произрастает в Ботаническом саду им. Э. Гареева НАН КР. Его высота 5–6 м, диаметром 15 см, крона раскидистая. Имеет средние красивые плоды почти круглой формы, лежкие, кожица плода гладкая, блестящая. Румянец ярко-красный. Блюдце глубокое, широкое, чашевидное, средний вес плода свыше 30 г. Мякоть белая, вкус кисло-сладкая. Яблоня высокоурожайная (рис. 3).



Рис. 3. Яблоня Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod), форма № 9

Форма № 10. Яблоня средних размеров, с вкусными плодами, которые вполне могут конкурировать с культурными сортами. Высота дерева 5–6 м диаметр 9 см. Средний диаметр плода 4,1 см средняя высота плода 3,4 см, максимальная 5,4 см. Плоды круглой формы со средним весом 45 гр. Мякоть плода белая с легким зеленоватым оттенком, с приятным запахом пресно-сладкая, хорошая для питания сразу после снятия с дерева и после лежки. Форма пригодна для разведения без селекционного улучшения как позднелетний сорт (рис. 4).



Рис. 4. Яблоня Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod), форма № 10

Форма № 11. Дерево произрастает в Ботаническом саду им. Э. Гареева НАН КР. Дерево высотой 6–7 м и диаметром 10 см. Яблоки красивые, плоды средние. Форма плода круглая. Кожица светло-зеленого цвета с желтым оттенком. Средний вес плодов 28 г. Мякоть плода белая, сочная. Вкус кисло-сладкий. Семена оригинальной формы – короткие полные (рис. 5).



Рис. 5. Яблоня Кыргызов
(*M. kirghisorum* Al. et An. Theod), форма № 11

Форма № 12. Дерево 5–6 м высоты диаметром 18 см. Плоды мелкие, со средним весом 20 г, плоско-круглой формы, по вкусу кисловато-сладкие, приятные на вкус. Окраска зеленовато-желтая. Форма представляет собой большой практический интерес в качестве селекционного материала (рис. 6).



Рис. 6. Яблоня Кыргызов
(*M. kirghisorum* Al. et An. Theod), форма № 12

На юге Кыргызстана массовое распространение дикой яблони наблюдается в нижнем и средних подпоясах (1400–1800 м над ур. м.). Отдельные экземпляры можно встретить на склонах южных экспозиций.



Обычно они встречаются на опушках ореховых и кленовых лесов и являются сравнительно теневыносливыми растениями, но иногда яблоня образует более или менее чистые естественные яблоневые насаждения, которые чаще возникают на месте сведенных ореховых лесов.

Яблоня Сиверса (*Malus Sieversii* (Ledeb.) M. Roem) можно считать феноменом среди всех видов рода *Malus* как по внутривидовому разнообразию, так и по удивительному сходству с культурными сортами. Нет ни одного вида, имеющего такое поразительное богатство морфологических и биологических признаков. Яблоня Сиверса (*Malus Sieversii* (Ledeb.) M. Roem) более ксероморфна и обитает на сухих склонах южной экспозиции в пределах от 900 до 2500 м над ур. моря. Плоды у нее более интенсивно окрашены и меньшей величины, чем у яблони Кыргызов. Главные отличительные видовые признаки: плодоножки у яблони Сиверса (*Malus Sieversii* (Ledeb.) M. Roem) всегда довольно длинные (рис. 7), а у яблони Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod) очень короткие.

Наши наблюдения показали, что сроки прохождения основных фенологических фаз всех видов и форм проходят в зависимости расположения над уровнем моря и экспозиции склонов. В наших исследованиях дикие виды и формы начали вегетацию с 12 апреля на 1000 м над ур. м. и до 28 апреля на 2100 м над ур. м. Во второй декаде апреля у всех видов начинается цветение и заканчивается в первой декаде мая.

Яблоня Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod) относится к категории видов с большим генофондом, у которых еще интенсивно идет формообразовательный процесс.



Рис. 7. Яблоня Сиверса (*Malus Sieversii* (Ledeb.) M. Roem)



Рис. 8. Яблоня Кыргызов (*M. kirghisorum* Al. et An. Theod)



Рис. 9. Яблоня Недзвецкого (*Malus Niedzwetckiana* Dieck.)

Яблоня Кыргызов дерево до 15 м высотой, мезофильного облика с темно-серой корой. Годичные побеги, особенно ростовые, длинные и тонкие, не колючие. Крона широкая, обычно шатровидная. Листья зеленые, тонкие, не кожистые, слабо опушенные с нижней стороны, до 10 см длины, 5–6 см ширины, волосистые черешки в 2–3 раза короче пластинки. Плоды 3–8 см длины и такого же диаметра, чаще более или менее шаровидные, у основания и сверху глубоко вдавленные, зеленые или желтоватые, иногда окрашенные, с густо опушенными удерживающимися чашелистиками. Цветет в апреле-мае (рис. 8).

Созревание плодов у яблони Кыргызов, у различных форм происходит в разные сроки. Плоды ранних форм созревают с июня по август, поздних – в конце сентября и в октябре, но у основной массы яблонь созревание плодов происходит между этими крайними сроками и они относятся к среднеспелым формам. У наиболее ранних форм арсланбапских яблонь плоды начинают созревать уже в июне-июле, у среднеспелых – в ав-

густе-сентябре, у поздних форм в октябре-ноябре и даже позже. Средний урожай плодов для крупноплодных форм составляет 42,3 кг, для форм с плодами средней величины (25–35 г) – 31,5 кг и для мелкоплодных (10–20 г) – 21 кг.

Яблоня Недзвецкого (Malus Niedzwetckiana Dieck.) Дерево до 10 м высотой с темно-пурпуровыми ветвями, лишенными колючек. Листья плотные, овальные, обратнаяцевидные или продолговатые, снизу опушенные, с красноватым оттенком, на утолщенных войлочных-волосистых черешках. Цветки на тонких беловойлочных цветоножках; лепестки интенсивно пурпуровые. Плоды фиолетово-темно-красные с розово-пурпуровой мякотью. Цветет в мае, созревают плоды в сентябре (рис. 9).

Яблоня Недзвецкого является прекрасным декоративным растением и представляет большой интерес для селекционеров-плодоводов, она внесена в Красную книгу Кыргызской Республики. Это растение может произрастать в горных насаждениях до высоты 2000 м над ур. м.

Заключение

Таким образом, орехово-плодовые леса, расположенные на юге Кыргызской республики, достаточно богаты формовым разнообразием дикорастущих яблонь, плоды с плюсовыми формами, обнаруженные нами в ходе исследований перспективны для использования их при выведении комплексно-устойчивых к биотическим и абиотическим условиям среды, а также обладают отличными вкусовыми и товарными качествами плодов культурных сортов яблонь.

Из-за тяжелых социально-экономических условий местного населения в переходный период после распада СССР это уникальное и бесценное генетическое разнообразие находится под угрозой исчезновения, характеризуется почти полным отсутствием естественного возобновления популяций. Исходя из этого, сохранение и рациональное использование даров природы имеет важное научное, эстетическое и экологическое значение для эволюции и развития орехово-плодовых лесов юга Кыргызстана.

Список литературы

1. Слепнева Т.Н., Чеботок Е.М. Сохранение и пополнение генетических ресурсов плодовых, ягодных и декоративных культур путем создания уникальной научной установки коллекции живых растений открытого грунта: сборник научных трудов ГНБС, 2017. Т. 144. Ч. 1. С. 54–58.
2. Толстолик Л.Н., Красуля Т.И. Генофонд семечковых культур и его использование в селекции в условиях юга степи Украины: сборник научных трудов ГНБС, 2017. Т. 144. Ч. 1. С. 67–70.
3. Тургунбаев К.Т. Продуктивность яблони в условиях юга Кыргызстана // Инновационные подходы в современной науке: сб. ст. по материалам XIV Междунар. науч.-практ. конф. М., 2018. № 2 (14). С. 60–66.
4. Пономаренко В.В., Пономаренко К.В. Дикорастущая яблоня Южного Кыргызстана – генофонд мирового значения // Вестн. Кырг. аграрного ун-та. Бишкек, 2009. № 15. С. 21–25.
5. Иманбаева А.А., Косарева О.Н., Туякова А.Т. Древесные растения Мангышлакского экспериментального ботанического сада 40 лет интродукции. Актау, 2012. 215 с.
6. Федоров Ал.А. Яблоня Южной. Плодовые леса Южной Киргизии и их использование. Тр. Южно-Кирг. экспедиции. Вып. I. М.; Л., 1949. С. 218–253.
7. Смыков А.В. Сортимент плодовых культур НБС-ННЦ и развитие южного плодоводства // Бюл. Никит. ботан. сада. 2010. Вып. 100. С. 56–64.
8. Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. 606 с.
9. Криворучко В.П. Эколого-биологические основы повышения продуктивности яблоневых садов Северного Кыргызстана: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Бишкек, 1998. 40 с.

УДК 550.343:551.46.077

НАПРАВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ АДАПТИВНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Комаров В.С.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: kvs@ocean.ru

Известно, что площадь поверхности океана составляет примерно 70% от поверхности земной сферы. Масса земли $5,88 \times 10^{21}$ т, а масса Мирового Океана – $1,422 \times 10^{16}$ т, это примерно 0,02% от массы Земли. Если убрать Океан с поверхности Земли, то она потеряет вид сферы. Океан придает ей круглую форму. В центре Земли на глубине более 2 500 км расположено расплавленное ядро. Земля постоянно получает на свою поверхность огромное количество солнечной энергии, которая частично оседает в атмосфере, поглощается Океаном и материками – островами суши, на которых мы живем. В процессе своей эволюции люди пришли к выводу, что для выживания и вообще для жизни необходимо регулярно изучать Океан, так как именно он является источником угроз (тайфуны, ураганы, штормы), он значительно влияет на погоду (дожди, снег, град). Люди создали технику прибрежных морских судовых измерений для изучения и освоения Океана, кроме того, создали программы комплексного и объемного изучения Океана. Этими программами являются – WOCE, CLIVAR и GODAE (GOV), ARGO. Эти международные программы позволили получать огромный объем постоянно поступающей информации о состоянии погоды, гидрологии и термодинамики Океана. Успехи этих исследований основаны на измерениях, получаемых в программе ARGO с помощью сканирующих буев, использующих для своего движения тепловой градиент морской воды и передающих измеренную информацию через GPS в центр обработки. Видимо, успехи буев ARGO в какой-то степени подтолкнули развитие аналогичных видов автоматических измерительных устройств, использующих тепловые градиенты морской воды. Разрабатывая механизмы утилизации этого тепла с помощью химических газожидкостных фазовых переходов и фазовых переходов в твердокристаллических растворах, на сегодня в результате в мире имеются разнообразные количества простых и комбинированных глиссирующих аппаратов, снабженных некоторым подобием крыла.

Ключевые слова: океан, измерения, температура, энергия, глубина, термодинамика, гидрология

THE DIRECTION OF THE FUTURE DEVELOPMENT OF ADAPTIVE ENERGY SYSTEMS FOR AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES

Komarov V.S.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: kvs@ocean.ru

It is known that the surface area of the ocean is approximately 70% of the surface of the terrestrial sphere. The mass of the earth is 5.88×10^{21} tons, and the mass of the World Ocean is 1.422×10^{16} tons, which is approximately 0.02% of the mass of the Earth. If you remove the Ocean from the surface of the Earth, it will lose the form of a sphere. The ocean gives it a round shape. In the center of the Earth at a depth of more than 2 500 km there is a molten core. The Earth constantly receives on its surface a huge amount of solar energy, which is partially deposited in the atmosphere, absorbed by the Ocean and the continents – the land islands on which we live. In the course of their evolution, people came to the conclusion that for survival and in general, for life, it is necessary to study the Ocean regularly, since it is he who is the source of threats (typhoons, hurricanes, storms), it significantly affects the weather (rain, snow, hail). People created the technique of coastal marine vessel measurements for the study and development of the Ocean, in addition, they created programs for the integrated and volumetric study of the Ocean. These programs are – WOCE, CLIVAR and GODAE (GOV), ARGO. These international programs allowed to receive a huge amount of constantly coming information on a condition of weather, hydrology and thermodynamics of the Ocean. The success of this research is based on measurements obtained in the ARGO program using scanning buoys, which use the thermal gradient of sea water for their movement and transmit the measured information via GPS to the processing center. Apparently, the success of the ARGO buoys to some extent promoted the development of similar types of automatic measuring devices using thermal gradients of seawater. Developing mechanisms for utilization of this heat with the help of chemical gas-liquid phase transitions and phase transitions in solid-crystalline solutions, today, as a result, there are various numbers of simple and combined gliding machines equipped with some kind of wing in the world.

Keywords: ocean, measurements, temperature, energy, depth, thermodynamics, hydrology

Нет нужды убеждать, как важно изучать свойства Океана. Океан – это жидкая среда, взаимодействующая с газообразной атмосферой. А если честно, учесть ещё и гравитацию и излучение Солнца и влияние других планет, то вот этот основной набор факторов, которые формируют среду нашего обитания и наше мировоззрение, главное в котором – это вопрос: «Как выживать?» Поверхность Океана составляет

примерно 70% от поверхности земной сферы – это же поверхность взаимодействия обеих сред, место, где рождаются штормы, тайфуны и ураганы. Разумеется, для людей главное предсказать: где, когда, с какой силой и в каком направлении «обрушит стихия свой гнев». Люди давно поняли, что для изучения Океана нужны приборы и измерительные устройства для двух сред: поскольку вода в 1000 раз тяжелее и также более

вязкая, чем воздух, то она лучше и дольше сохраняет кинетическую энергию, вызванную ветровым воздействием, что позволяет отделять устойчивые тепловые течения от поверхностных, ветровых.

Таким образом, для предсказания погоды целью является создание механизма предсказания, основанного на глобальных измерениях за счёт естественных источников энергии, а также построение теории вычисления прогнозирования на основе постоянных и глобальных измерений.

Сегодня наука обладает большим арсеналом: приборов, судов научных организаций, финансовых средств и т.п. возможностей для предсказания погоды, метео-климатических и стихийных явлений. Точечные измерения прибрежными приборами и приборами на дрейфтерах с буями изначально использовались для измерения приповерхностных параметров воды и параметров надповерхностной атмосферы, таких как давление, солёность, температура, скорость, направления течений и направление дрейфа, а также для записи измеренных данных. Они не требуют источников энергии для передвижения, так как дрейфуют за счёт течений и парусности. Со временем они совершенствовались с ростом технологий. С развитием техники возникли и развились подлёдные дрейфтенговые измерения в Арктическом, экономически очень важном регионе [1]. Они тоже не требуют энергии для движения. Но для определения метеопрогноза погоды нужно иметь одновременные глобальные измерения приповерхностных гидрологических и метеопараметров со всей площади акватории. Такая возможность возникла с появлением спутниковых технологий – GPS, когда на каждый квадрат 500×500 м можно было использовать, по крайней мере, один дрейфтер-измеритель. Наконец, возникла международная кооперация в виде ряда международных программ глобального наблюдения – «Дрейфтерная измерительно-информационная система оперативного контроля морских акваторий» [2]. Сотни различных буев (примерно 1250 буй-дрейфтеров) запускались в Мировом океане по всем международным программам для решения задач численного моделирования погоды и контроля изменчивости климата. Электробатарей использовались лишь для связи и обеспечения измерений. Россия постоянно и успешно участвовала в этой работе.

Этот успех явился основой создания проекта ARGO – первой попыткой организации постоянно действующей глобальной сети океанографических станций на основе

действующих буй-измерителей, составляющих *основу новой науки: оперативной океанологии*. Предложенный впервые в 1999 г. проект был одобрен Международной океанографической комиссией, Всемирной Метеорологической организацией и начал воплощаться в жизнь в 2000 г. как проект ARGO в составе программ CLIVAR и GODAE (GOV) [3]. Профилирующие буй в программе ARGO существуют в Модификациях Arx и Provor. Они умеют занимать и менять горизонт дрейфа и обмениваться информацией со спутником. Однако большой объём расходов по проекту пришлось распределить между странами-участницами, каждая из которых должна за свой счёт закупить, разместить в океане посильное количество буй, а также принимать и распространять информацию, полученную с них. В этом и есть *метод глобальной коллективной работы*.

В международном проекте в настоящее время принимают участие все развитые и развивающиеся страны, включая США, Канаду, Австралию, Новую Зеландию, Японию, Южную Корею, Индию, страны Европейского союза совокупно и отдельно (Франция, Германия, Великобритания, Дания, Испания). Широкое представительство государств в проекте обеспечит финансирование проекта в накоплении, обработке и анализе данных. Вместе с данными измерений температуры и солёности (электропроводности) дрейфующие буй обеспечивают также и данные о течениях на двух горизонтах (заданной глубине дрейфа и поверхности). Полученные данные, вместе со спутниковыми измерениями, полученные возвышения поверхности океана, позволяют определить характеристики течения от поверхности до горизонта дрейфа. Первичный (оперативный) поток данных поступает в глобальную метеорологическую сеть (ГТС) после первичного контроля. Для проекта ARGO (в США – Arx и во Франции – Provor) приняты следующие установочные параметры буй: нижний горизонт измерений – 2000 м, а дискретность измерений – 10 дней. Полученные через спутник данные от буй ARGO проверяются. Их координаты и точность в течение суток передаются в глобальную метеосеть, т.е. становятся доступными всем странам-участникам. После более детального контроля качества данных они передаются в два глобальных центра ARGO. Российский опыт участия в программе ARGO состоялся в рамках сотрудничества с Японией в Японском море (1999–2002 гг.) и затем в Охотском море (30 буй) в измерениях СТД и скоростей дрейфа. Результаты дали интересный материал и были

включены в общую карту состояния акваторий. Однако работа не была поддержана государством и заглохла. Надо отметить, что посильное участие в программе ARGO нужно всем, не только России и США. И можно не сомневаться, что в отличие от РФ, США имеют не только общую картину гидрологии, но и термодинамики. За время с 1999 г. буи ARGO сделали измерений больше чем все научные суда за весь 20 век. Сегодня в программе ARGO в изучении Океана занято более 5000 аппаратов Arex и Provot. И число их постоянно множится.

Параллельно с этим, в океане работает огромная армия исследователей со сканирующими буями на стационарных станциях, целью которых является измерение гидрологических, гидрохимических и термодинамических параметров водной среды. При этом глубины могут достигать сотен метров и даже нескольких километров. В этом случае для обеспечения процесса измерения может потребоваться внешний источник энергии или судно-носитель.

Сама по себе сила водоизмещения способна перемещать аппарат только по вертикали, как, например, в бую-профилометре «Арех», или «Provot», но если управлять поверхностными силами, так чтобы сформировать осевую равнодействующую поверхностных сил, то при управлении дифферентом, соотношением сил веса и водоизмещения, возможно получить планирующее движение в толще воды по пилообразной траектории. Тип таких аппаратов и получил название «глайдеры» (Slocum, Spray, Seaglider, Coastal Glider и др.). Для управления водоизмещением разработаны технические решения перемещения веса аппарата без изменения водоизмещения за счет тепловой энергии внешней среды, которую используют для изменения удельного объема рабочих тел, таких как парафины или низкокипящие хладагенты. И те и другие рабочие тела способны воспринимать тепловую энергию морской воды за счет фазовых изменений агрегатного состояния и изменения фазы твердых растворов (например, парафины).

Разработано большое количество низкокипящих хладагентов. Оценки их использования для извлечения энергии из тепловых градиентов океана показали их перспективность. В этой связи представляется важным провести *методом сравнительного анализа обсуждение* их термодинамических свойств на какой-либо модели, например, теплового насоса. В основе работы такой модели лежит фазовый переход кипения и конденсации рабочего тела. Методически, зная термодинамические свойства

конкретного хладагента, можно подсчитать его прибавочную плавучесть из уравнений термодинамики и гидростатики, пренебрегая в первом приближении потерями тепла на нагрев конструкции и теплоотвод в среду. Давлением газа, P_0 в шар-баллоне задают глубину погружения. Обозначим R_0 – радиус гидроаккумулятора и V – его объём, R – радиус поршня в камере, r – радиус штока изменения водоизмещения; dP и dV , соответственно, – изменение давления и объёма насыщенного равновесного: P_1 давление нагретого насыщенного пара на поверхности при T_1 , и соответственно, P_2 и T_2 – тоже на глубине погружения после охлаждения и конденсации парагаза. Разность давлений dP зависит от разности температур и свойств хладагента. Например, для трифтормонохлорметана разность $T_2 - T_1 = 15^\circ$ даёт $dP = 9,915$ атм давления насыщенного пара при погружении на глубину 1000 м. Аналогичные оценки можно сделать и для других хладагентов [4] по формуле

$$dV = V\{1 - (P_2 R^2 T_1) / [P_a r^2 + (P_1 + dP)(R^2 - r^2)T_2]\}.$$

Величина $dP = f(P_1(T_1) - P_2(T_2) - \text{свойство рабочего тела, } m.e. (dP/dT))$ определяется его химическим составом. Обсуждение результата показывает, что по сравнению с парафинами низкокипящие рабочие тела имеют большую зависимость (dP/dT) и менее инерционны.

Другой способ утилизации тепловой энергии используют в глайдерах – подводных аппаратах автоматической автономной измерительной техники – глиссирующие подводные «планеры» по пилообразной траектории, использующие для движения как активные электрические движители, так и механизмы, создающие движущую силу за счет управления плавучестью, используя принцип теплового насоса и низкокипящие жидкости. Таким образом, имея в составе аппарата (глайдера) блок управляемого объёма и массы аппарата постоянной величины, появляется возможность управлять движением, например, формировать пилообразную траекторию. Находясь на водной поверхности, где в экваториальных морях температуры могут достигать 25–30 °С, а давление у поверхности $P_a \sim 1$ атм, испарение хладагента активное и равновесное давление насыщенного пара достигает значительных величин: 20–30 ати и более. Основоположники этого направления Henry Stommel и Doug Webb (www.webbresearch.com). Первый успешный аппарат, использующий тепловые градиенты воды для отбора энергии движения, был Slocum 1989.

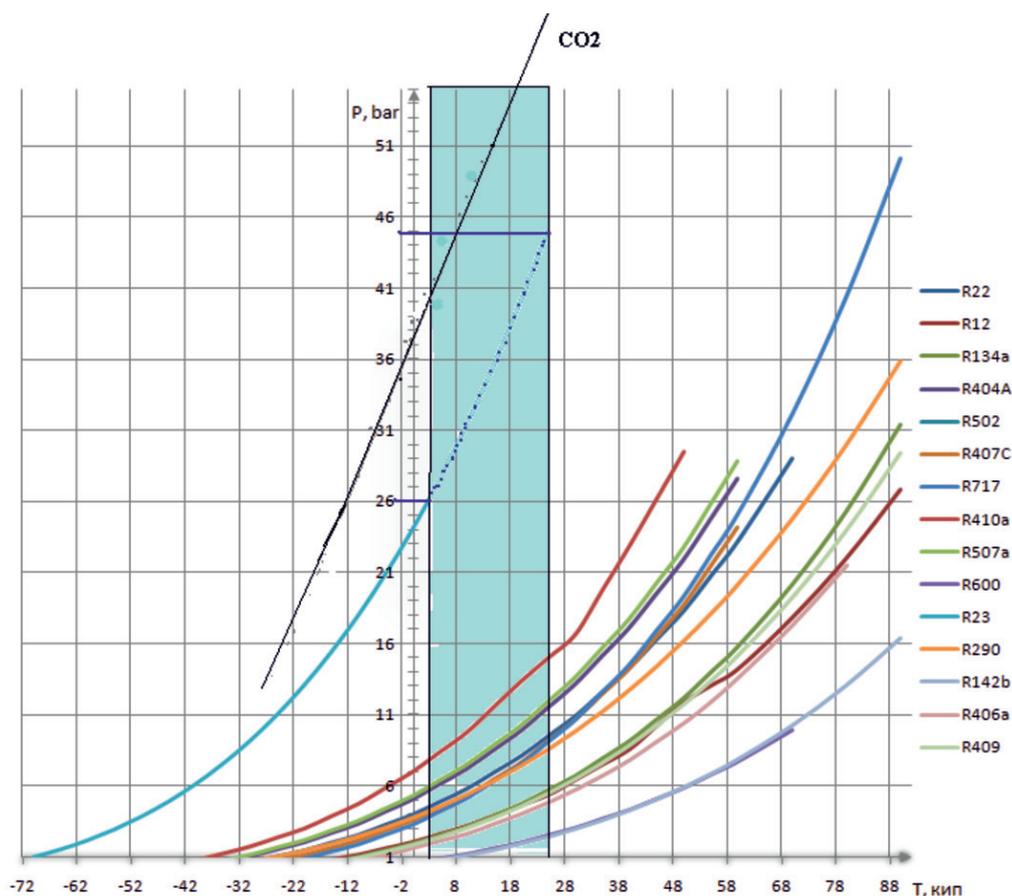


Рис. 1. Зависимость температуры кипения хладагента от давления

Рабочее тело Slocum – парафин (8% на 16° нагрева), который изменяет плотность при нагревании и охлаждении. Это давало возможность менять водоизмещение, т.е. плавучесть. В зависимости от температуры и компонент парафины могут образовывать эвтектику, переходящую в твердые растворы. Такой аппарат теоретически может двигаться неограниченно долго. Скорость его около 1 км/ч. На поверхности он определяется с помощью GPS и передает измеренную информацию.

Развитие GPS и проект ARGO позволили организовать глобальную сеть океанографических автоматических станций – дрейфующих буев измерителей (Arex и Provor), которые, снабжая измеренной информацией, при этом умеют управлять горизонтом погружений. Программа, одобренная WOCE, является частью GODAE и вовлекает более 30 стран и более 4000 автономных буев. В последнее десятилетие в эту работу *оперативной океанографии* включился флот глайдеров, которые для своего перемещения используют не только

термические градиенты морской воды, но и электрическую тягу (Sprey).

Для глайдеров носитель играет принципиально важную роль, так как он должен обеспечить перемещение измерительных модулей как можно дальше и экономичней, т.е. обеспечить максимальную автономность. В реальности тысячи автономных автоматических аппаратов постоянно исследуют Мировой океан.

Перемещение носителя за счет тепловых градиентов поверхностных и придонных водных слоев весьма удобны и эффективны в акваториях теплых экваториальных морей. В качестве рабочего тела используются парафиновые смеси – кристаллических предельных углеводородов в виде твердых растворов. Они бывают условно жидкими $T_{\text{пл}} < 27^{\circ}\text{C}$, твердыми $T_{\text{пл}} = 28 - 27^{\circ}\text{C}$ и микрокристаллическими $T_{\text{пл}} > 60 - 80^{\circ}\text{C}$ [5]. При рекристаллизации и плавлении фракций получается изменение объема на 8–10%. Такой процесс фазовых превращений инерционный и поэтому переходный период особенно в фазе

охлаждения требует времени, так как отсутствует усилие движущее аппарат, что также снижает теплообмен.

Конкурентом твердожидкому фазовому механизму является более эффективный газожидкостный фазовый переход низкокипящих жидкостей, таких как жидкие газы, фреоны, хладоны, которых разработано множество для использования в холодильных машинах. Тепловые насосы на основе низкокипящих жидкостей составляют основу холодильной техники и достаточно изучены. Попытки их использования для извлечения энергии из тепловых градиентов океана показали их перспективность [6]. Важно провести сравнительный анализ их термодинамических свойств в тепловых машинах на какой-либо экспериментальной модели теплового насоса. В основе работы такой модели лежит фазовый переход кипения и конденсации рабочего тела. В работе [7] показана цилиндрическая модель тепловой машины переменного объема, которая могла бы быть основой эксперимента. Сопоставление испаряемости различных хладагентов, в основном фреонов [4], приведено на рис. 1, где показано давление насыщенного равновесного пара в зависимости от температуры кипения хладагента в терминах $T^{\circ}\text{C}$ и давления P bar.

На этом же рисунке голубым цветом выделен диапазон температурного градиента, характерного для тёплых экваториальных морей. Из рис. 1 видно, что термодинамические параметры значительно отличаются и среди них удобно подобрать максимально подходящие для интересующего диапазона температурного градиента. Очевидно, что максимально для КПД подходит из числа хладонов – R23, но наиболее эффективен сжиженный CO_2 , имеющий максимальную упругость.

На рис. 2 схема возможной конструкции теплового насоса с переменным объемом, здесь 1 – гидроаккумулятор с давлением инертного газа и 2 – эластичная ёмкость с маслом, и соединённой через управляемый клапан 3 с рабочим гидравлическим цилиндром 4 радиусом R , поршнем 5, отделяющим область низкокипящего рабочего тела, которое находится в двухфазном состоянии 6 и 7, где 6 – равновесный насыщенный пар и 7- жидкий хладагент. Поршень выдвигает шток 8 радиусом r через уплотнение 9, который и меняет общий объем – водоизмещение аппарата.

Таким образом, имея в составе аппарата (глайдера) блок управляемого объёма и постоянной массы, появляется возможность управлять движением, например, формировать пилообразную траекторию.

Находясь на водной поверхности, где в экваториальных морях температуры могут достигать $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$, а давление у поверхности $P_a \sim 1$ атм, испарение хладагента активное и равновесное давление насыщенного пара достигает значительных величин: $20\text{--}30$ атм и более.

Зная конкретные термодинамические свойства конкретного хладагента, можно попытаться оценить изменение его плавучести из уровней термодинамики, пренебрегая в первом приближении потерями тепла на нагрев конструкции и теплоотвод в среду.

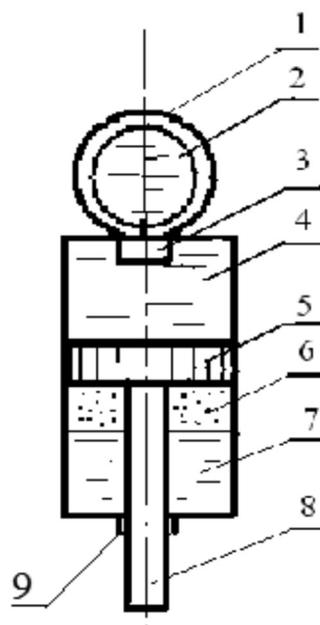


Рис. 2. Схема возможной конструкции теплового насоса с переменным объемом

Для арктических морей, особенно ледовитых, способ использования тепловых градиентов невозможен, а электрические энергоёмкости ограничены. Поэтому в данной работе рассмотрена возможность использования пороховых источников энергии, которые могут рассматриваться как аккумуляторы давления. Они удобны тем, что в промышленном исполнении выпускается большое количество разнообразных боеприпасов в виде холостых патронов (например, патроны для монтажных пистолетов), а также устройств их иницирования и перезарядки (автоматическое оружие). Известно [8], что, сгорая, порох выделяет большое количество горячих газов. Например, для сканирования реального «разреза» – толщи воды глубиной $0,5$ км, 1 км и 2 км роботом-зондом с газогенератором на ос-

нове бездымного пироксилинового пороха и удельной энергией взрыва $q = 1300$ кал/г, для изменения водоизмещения на 1 кг (≈ 1 л) потребуются навески соответственно 0,9 г, 1,8 г и 3,6 г. Поршень, при сгорании этой навески в поршневой камере, совершит перемещение и увеличит водоизмещение на 1000 см^3 . Однако следует заметить, что не вся выделенная сгоранием энергия идёт на совершение внешней работы. Небольшая часть тепловой энергии 3–5% остаётся внутренней энергией пороховых газов. Ввиду её малости на практике она не учитывается, хотя из соображений запаса, навески следует взять: 1, 2 и 4 г соответственно. Технически возможно зафиксировать объём поршневой камеры и предотвратить его уменьшение за счёт охлаждения [9]. Каждая глассида подъёма начинается с инициации порохового патрона и расширения внутреннего объёма камеры сгорания. В результате глайдер получает подъёмную силу равную избыточному водоизмещению, которую преобразует за счёт аэродинамического качества в линейное движение вдоль строительной оси. При достижении заданного верхнего горизонта микропроцессор открывает клапан сброса пороховых газов, а возвратная пружина перемещает поршень в исходное положение. В результате аппарат получает отрицательное водоизмещение и переходит на нисходящую глассиду.

Для аппаратов типа глайдер, очевидно, следует учитывать в общем балансе энергий также потери на трение вдоль траектории, которые сильно зависят от аэродинамического качества носителя, тогда как для сканирующих вдоль троса зондов это не так важно. Следует заметить, что промышленное использование порохов вызвало значительный рост технологии их изготовления и свойств. Например, такие пороха как «Ирбис-32М» [10] и новые льняные пороха [11], находят все более широкое применение в науке и могут быть использованы в производстве океанологической техники. Для ледовитых морей разработка глайдеров с интерактивной программой движения, использующих пороховой аккумулятор давления, представляется полезной и своевременной задачей технической океанологии.

Из обсуждения вышеприведенных методов энергоснабжения автономных подводных аппаратов можно сделать вывод, что для разных энергосодержащих регионов мирового Океана необходимо разрабатывать свойственные этому региону адаптивные энергосистемы.

В заключение отметим, что для решения численной задачи предсказания климата и погоды необходимо накопить доста-

точный экспериментальный материал. При этом необходимо учесть тектонику движения литосферных плит, сейсмическую активность (в настоящее время на Земле действуют не менее 5-и активных сейсмических зон – вулканов). Все это – мощные источники атмосферных возмущений на уровне стихийных бедствий, вызывающих землетрясения, цунами, тайфуны, штормы и т.п. бедствия, от «глобального потопа до глобального пожара». Сегодня пока что нет теории, предсказывающей изменения климата и стихийные бедствия. Если человечество перестанет тратить огромные средства на военные самоубийства, а вложит их в науку и технику исследования Океанов, то в ближайшие годы можно надеяться на то, что человечество выживет.

Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0011).

Список литературы

1. Писарев С.В. Опыт применения автоматических дрейфующих устройств для исследования водной толщи и ледового покрова Арктики в начале XXI в. // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4. С. 66–75.
2. Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Безгин А.А., Быков Е.М., Юркевич Н.Ю. Дрифтерная измерительно-информационная система оперативного контроля морских акваторий // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. URL: <https://cyberleninka.ru/journal/n/izvestiya-yuzhnogo-federalnogo-universiteta-tehnicheskie-nauki> (дата обращения: 17.11.2018).
3. Гулев С.К. Взаимодействие океана и атмосферы на различных пространственно-временных масштабах: автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук: 11.00.08, 11.00.09. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. Москва, 1997. 41 с.
4. ООО «АВИСАНКО» Термодинамические диаграммы i - lgP для хладагентов. М.: АВИСАНКО, 2003. 50 с.
5. Парафины. URL: <https://tvoi-uvellir.ru/chto-takoe-parafin-svoystva-parafina-primeneniye-parafina> (дата обращения: 17.11.2018).
6. Комаров В.С., Морозов А.К. Способ и устройство перемещения по глубине подводного аппарата с использованием температурного градиента морской среды // Патент РФ № 2124457. 1998.
7. Комаров В.С. Использование принципа низкокипящих рабочих тел в тепловом насосе для привода в движение подводного аппарата МСОИ-15 // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ». М., 2015. Т. 2. С. 151–154.
8. Дементьева Д.И., Кононов И.С., Мамашев Р.Г., Харитонов В.А. Введение в технологию энергонасыщенных материалов. ИИО БТИ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2009. С. 102–113.
9. Комаров В.С. Пороховой генератор. Способ и устройство управления плавучестью подводного аппарата-зонда // Патент РФ № 2482001. 2013.
10. Гиниятов Х.З., Яруллин Р.И., Анисимов В.Н. Новый порох «Ирбис-23» // Арсенал Охотника. 2008. № 3.
11. Агеев А. Российские ученые разработали технологию изготовления пороха из льна и конопли // Техкульт. Новости высоких технологий, науки и культуры. URL: <https://www.techcult.ru/technology/2601-poroha-iz-lna-i-konopli> (дата обращения 31.10.2018).

УДК 504.064.36(282.256.341)

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

¹Макаров М.М., ¹Кучер К.М., ¹Асламов И.А., ²Петров И.А.

¹ФГБУН «Лимнологический институт» Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск;

²ФГБУН «Иркутский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук,
Иркутск, e-mail: mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru

Представлен опыт создания системы экологического мониторинга, включающий в себя: подсистему сбора и обработки параметров водной среды озера Байкал и атмосферы; подсистему передачи данных в режиме реального времени по беспроводным каналам связи; подсистему хранения и визуализации с открытым доступом. В настоящее время в систему экологического мониторинга входит сеть автоматических гидрометеорологических станций, расположенных в Южной, Средней и начале Северной котловины озера Байкал. Все станции работают в автоматическом режиме, запитаны от солнечных батарей, собирают данные и передают их в центр сбора, хранения и визуализации данных через сотовую сеть по каналам GPRS. Любой пользователь сети Интернет может зайти на веб-страницу системы экологического мониторинга и просмотреть доступные данные за выбранный интервал времени. Интеграция в существующую систему зонда качества воды позволила значительно расширить список измеряемых параметров гидрохимическими показателями и может со временем дать новую информацию для понимания причин развивающегося экологического кризиса на озере Байкал. Разработанная система актуальна для ведомственных служб, таких как: МЧС, Гидро-Мет, РусГидро, и может быть источником дополнительной информации для принятия оперативных решений.

Ключевые слова: экологический мониторинг, гидрофизические процессы, сейшевые колебания, оз. Байкал

THE MONITORING SYSTEM OF HYDROPHYSICAL AND HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF LAKE BAIKAL

¹Makarov M.M., ¹Kucher K.M., ¹Aslamov I.A., ²Petrov I.A.

¹Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk;

²Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Irkutsk, e-mail: mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru

The article presents the experience of creating an environmental monitoring system, which includes: a subsystem for collecting and processing parameters of the water environment of lake Baikal and the atmosphere; a subsystem for real-time data transmission via wireless communication channels; a subsystem for storage and visualization with open access. Currently, the environmental monitoring system includes a network of automatic hydrometeorological stations located in the southern, Middle and Northern basin of Lake Baikal. All stations operate in automatic mode, powered by solar panels, collect data and transmit them to the data collection, storage and visualization center through the cellular network via GPRS channels. Any Internet user can visit the web page of the environmental monitoring system and view the available data for the selected time interval. Integration of the water quality probe into the existing system has significantly expanded the list of measured parameters with hydrochemical indicators and may, over time, provide new information for understanding the causes of the developing environmental crisis at Lake Baikal. The developed system is relevant for the departmental services, such as EMERCOM, Hydromet, RusHydro, and can be a source of additional information for operational decision-making.

Keywords: ecological monitoring, hydrophysical processes, seiche oscillations, Lake Baikal

Охрана окружающей среды и рациональное природопользование являются одной из приоритетных фундаментальных научных проблем. Экологическая доктрина Российской Федерации одобрена распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225-р. Современный экологический кризис ставит под угрозу возможность устойчивого развития человеческой цивилизации, поскольку дальнейшая деградация природных систем ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее целостности и способности поддерживать качества окружающей среды, необходимые для жизни человека. Биоразнообразие является важнейшим фактором функционирования экосистем и мно-

гочисленные исследования показали, что снижение видового разнообразия в сообществах ведет к деградации их экосистемных функций [1–3]. Согласно текущему законодательству, экологический мониторинг должен поддерживаться научными исследованиями и служить навигатором объектов экологического контроля [4].

В последние годы рядом исследователей отмечаются характерные признаки экологического кризиса в прибрежной зоне озера Байкал [5]. Кризис характеризуется массовым развитием зеленых нитчатых водорослей (*Spirogira Link*) и массовым заболеванием и гибелью эндемичных губок (*Lubomirskia baikalensis*) [6]. Губки явля-

ются преобладающими видами макрозообентоса литорали и играют огромную роль в поддержании чистоты вод прибрежной зоны. Гибель этого вида может иметь катастрофические последствия для экологии уникального озера и биоразнообразия озерной экосистемы.

Развитие систем онлайн-мониторинга различных параметров водного экологического баланса, таких как температура воды, солнечная радиация, ветровой режим, химические и биогенные компоненты и т.д., может дать дополнительную информацию для понимания причин развивающегося экологического кризиса на озере Байкал. Особенно, если такие системы будут работать автономно, в круглосуточном режиме, и передавать данные в ситуационный центр, для принятия оперативных решений. Таким образом, целью работы являлась разработка и реализация системы онлайн-мониторинга гидрофизических, гидрологических и метеорологических параметров Байкальской экологической зоны.

Материалы и методы исследования

Автономный онлайн-комплекс разработан сотрудниками лаборатории гидрологии и гидрофизики Лимнологического института СО РАН. Комплекс предназначен для сбора и передачи в режиме реального времени гидрологической, гидрохимической и метеорологической информации по беспроводным каналам связи на удаленный интернет-сервер.

Комплекс состоит из подводного кластера (гидрофизические и гидрохимические датчики, датчик

уровня воды), берегового кластера (метеорологические датчики, система сбора, хранения и передачи данных) и серверного кластера (база данных и WEB интерфейс доступа к данным) (рис. 1). Подводный гидрофизический кластер выполнен на базе мониторингового зонда качества воды AAQ177 Rinko (JFE Advantech, Япония) [7], а также датчика уровня воды (разработки лаборатории гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН).

Береговой кластер разработан в ЛИН СО РАН и обеспечивает опрос метеорологических датчиков Vantage Pro 2 (Davis Instruments, США) [8] и подводного кластера, с дальнейшей передачей измеренных параметров в центр обработки данных через сотовую сеть по каналам GPRS. Серверный кластер обеспечивает получение, систематизацию, хранение и удаленный доступ к накопленным данным с сети мониторинговых станций. WEB-интерфейс, реализованный на сервере, позволяет просматривать и сравнивать любые доступные параметры за выбранный период времени. Реализована возможность работы с данными в отложенном режиме, для этого необходимо выбрать набор интересующих данных и интервал времени, после чего система позволит загрузить их на компьютер в виде упакованного архива. Все полученные данные находятся в свободном доступе по адресу www.hydro.lin.irk.ru.

Список гидрофизических, гидрохимических и метеорологических параметров, измеряемых онлайн-мониторинговым комплексом, представлен в таблице. Они могут быть изменены путем добавления в состав комплекса дополнительных датчиков.

Нужно отметить несколько особенностей данного комплекса:

1. Сетевая архитектура. Серверный кластер может получать и обрабатывать данные одновременно от большого количества береговых станций.

Мониторинговый комплекс

Серверный кластер



Центр обработки данных и WEB интерфейс выполняет:

- Получение и первичную обработку данных
- Хранение и выгрузку данных по запросу SQL
- Отображение данных в виде графиков за выбранный интервал времени
- Сравнение различных параметров в единой временной шкале

Береговой кластер
АГМС-3 (ЛИН СО РАН)

Параметры:

- УФ, солнечная радиация
- Скорость и направление ветра
- Температура и влажность воздуха
- Атмосферное давление
- Температура воды
- Уровень воды



Подводный кластер
JFE AAQ177 RINKO

Параметры:

- Электропроводность
- Взвешенные частицы
- Хлорофилл
- Растворенный кислород
- Освещенность
- pH,
- оки-но вост-ный потенциал



Рис. 1. Структура мониторингового комплекса

Измеряемые параметры, точность и их разрешающая способность
(параметры помечены индексом: 1 – JFE Advantech, 2 – Davis Instruments, 3 – ЛИН СО РАН)

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Разрешение	Точность	Время отклика
Глубина ¹	0–100 м	0,002 м	±0,3% Полной шкалы	0,2 с
Температура воды ¹	–3–45 °C	0,001 °C	±0,01 °C (0–35 °C)	0,2 с
Электропроводность ¹	0–2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$	0,1 $\mu\text{S cm}^{-1}$	±2 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (0 to 200 $\mu\text{S cm}^{-1}$)	0,2 с
Взвешенное вещество ¹	0–1,000 FTU	0,03 FTU	±0,3 FTU или ±2%	0,2 с
Хлорофилл ¹	0–400 ppb	0,01 ppb	±1% Полной шкалы	0,2 с
Растворенный кислород ¹	0–20 mg L ⁻¹ (0–200%)	0,001–0,004 mg L ⁻¹	±0,4mg L ⁻¹ (±2% Полной шкалы)	0,4 с
Фотосинтетически активная радиация в воде ¹	0–5,000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	0,1 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	±4%	0,2 с
Водородный показатель ¹	2–14 pH	0,01 pH	±0,2 pH	10 с
Окислительно-восстановительный потенциал ¹	0 – ±1,000 мВ	0,1 мВ	–	10 с
Атмосферное давление ²	420–820 мм рт. ст.	0,1 мм рт. ст.	1,3 мм рт. ст.	1 с
Влажность воздуха ²	0–100%	1%	0–100%	1 с
Количество осадков ²	0–999,9 мм	0,25 мм	4%	1 с
Температура воздуха ²	–40 – +65 °C	0,1 °C	0,5 °C	1 с
Направление ветра ²	0–360°	1°	0,3%	1 с
Скорость ветра ²	0,5–89 м/с	0,4 м/с	5%	1 с
Приходящая солнечная радиация ²	0–1800 Вт/м ²	1 Вт/м ²	5%	1 с
Индекс UV ²	0–16	0,1	8%	1 с
Уровень воды ³	0–6 м	0,5 мм	1%	1 с

2. Наличие встроенного GSM терминала позволяет в режиме реального времени передавать данные на сервер. При отсутствии в районе установки станции сетей сотовой связи предусмотрена возможность подключения спутникового терминала или работы в полностью автономном режиме, с сохранением собранных данных на сменной энергонезависимой карте памяти типа SD.

3. Встроенная карта памяти отформатирована в FAT32, поэтому записанные данные могут быть считаны из любой операционной системы без использования специализированных программ.

4. Для синхронизации времени в устройстве интегрирован приемник географических координат (ML8088s производства ООО «НАВИА» Россия), обеспечивающий привязку к атомным часам спутников ГЛОНАСС и GPS. Интегрированный приемник сигналов ГЛОНАСС сопровождает измеряемые параметры метками точного времени, что позволяет анализировать изменения пространственно разнесенных параметров в единой временной шкале.

5. Автономность. Береговой и подводный кластер питаются от свинцового аккумулятора напряжением 12В. Заряд производится от солнечной панели мощностью 30 и более Вт. В схему питания интегрирован контроллер заряда, поддерживающий оптимальное зарядное напряжение в зависимости от температуры аккумуляторов, и обеспечивающий их защиту от перезаряда и глубокого разряда, что существенно продлевает срок службы аккумулятора.

Вышеперечисленные особенности позволяют полностью отказаться от береговой инфраструктуры, и позиционируют комплекс как полностью автономный. Малые габариты, антивандальный утепленный корпус позволяет размещать бокс с оборудованием на метеомачте. Наличие в устройстве внешних I²C и COM портов, а также резервных аналоговых каналов, открывает возможности ее гибкого расширения: оснащения дополнительными датчиками, подключения внешнего оборудования.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время гидрохимические наблюдения за акваторией озера Байкал осуществляет подразделение Министерства природных ресурсов РФ – ФГУ «Востсибрегионводхоз». Главным инструментом этой организации является судно «Исток», несущее на себе программно-аппаратный комплекс «Акватория Байкал – 2», позволяющий осуществлять непрерывные измерения гидрохимических и гидрофизико-химических параметров водной среды по четырнадцати показателям в процессе движения судна [9]. Однако такие измерения проводятся эпизодично в нескольких экспедициях за один навигационный период.

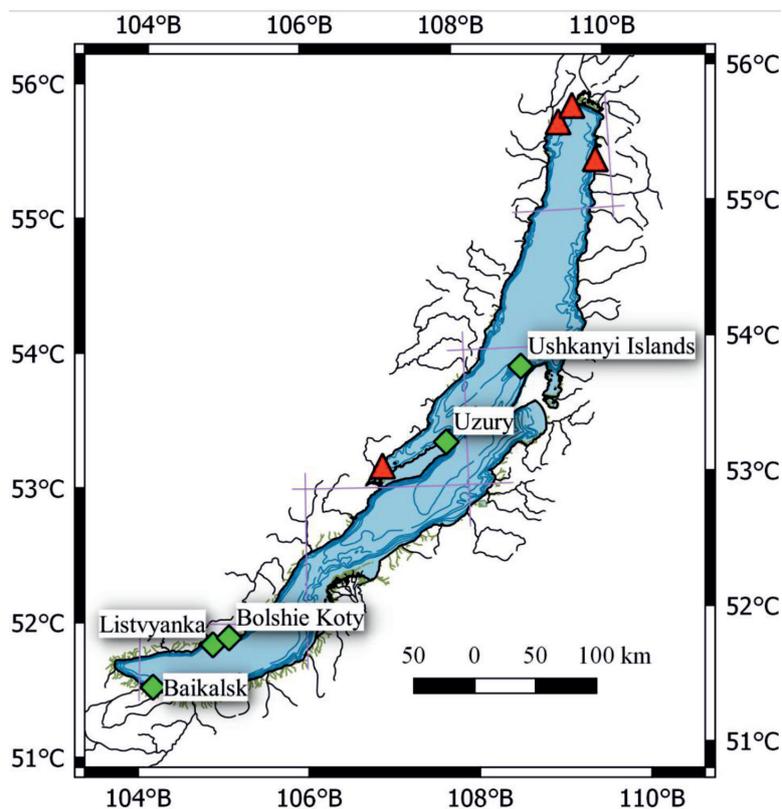


Рис. 2. Расположение установленных (зеленые ромбы), и планируемых к установке (красные треугольники) станций экологического мониторинга на оз. Байкал

Использование онлайн-мониторингового комплекса позволит получать непрерывные ряды данных основных параметров воды литоральной зоны в течение всего года. На данный момент в разработанную систему экологического мониторинга входит сеть станций, состоящая из пяти пунктов, расположенных в Южном, Среднем и Северном Байкале (рис. 2), зеленые ромбы. Станции, оснащенные метеорологическими датчиками и измерителями уровня озера. Благодаря разработанному датчику уровня озера, входящему в состав комплекса, измерение колебаний уровня производятся с высоким разрешением по амплитуде (0,5 мм) и частоте (1 Гц), что на порядок превышает точность измерения уровня на постах Росгидромета, где измерения проводятся по стандартной схеме, дважды в сутки, с точностью по амплитуде не более 1–2 см.

Результаты измерений с развернутой сети онлайн-мониторинговых станций и их интеграция в одну систему, охватывающую весь Байкал, позволили изучать пространственную изменчивость колебаний уровня, выполнять как более качественное

и надежное разделение разночастотных колебаний уровня, так и более достоверную интерпретацию полученных результатов. В частности, был проведен детальный анализ амплитуд сейшевых колебаний Байкала и их сезонной изменчивости [10]. Благодаря высокой частоте и точности измерений уровня впервые были выявлены отклики уровня Байкал на сильные удаленные землетрясения, выражающиеся в генерации квазипериодических колебаниях уровня с периодами от 1 до 2 мин, что значительно меньше периодов поперечных и тем более продольных сейш [11].

В 2018 г. станция, установленная на пирсе ЛИН СО РАН в п. Листвянка, была оснащена подводным зондом AAQ177 Rinko с гидрохимическими и гидрофизическими датчиками, которые позволяют выявить сезонные изменения растворенного кислорода, водородного показателя, окислительно-восстановительного потенциала, фотосинтезирующей радиации и других показателей в литоральной части озера. Такого набора параметров достаточно, чтобы судить о качестве воды и отслеживать ее изменения в течение года.

Заключение

Разработана система мониторинга гидрофизических и гидрохимических параметров озера Байкал. Изготовлено и установлено пять станций онлайн-мониторинга, позволяющих получать непрерывные ряды данных основных параметров воды литоральной зоны. Получаемые данные находятся в открытом доступе, интерфейс сервера позволяет как оперативно визуализировать полученные данные, так и выгружать данные для последующего анализа в табличном формате. В дальнейшем планируется расширение сети мониторинговых станций, планируемые места их установки обозначены на рис. 2 красными треугольниками. Также планируется их дооснащение зондами качества воды.

Экономическое преимущество разработанных мониторинговых станций заключается в их неприхотливости, не требующей дополнительного обслуживания со стороны человека. Питание от солнечных батарей позволяет полностью исключить затраты на их энергообеспечение, а расходы на передачу данных через сотовые каналы связи не превышают 1000 рублей в год на одну станцию.

Работа выполнена при поддержке Интеграционной программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей» (2018–2021 гг.).

Список литературы

1. Павлов Д.С., Стриганова Б.Р., Букварева Е.Н. Экологическая концепция природопользования // Вестник РАН. 2010. № 80 (2). С. 131–140.
2. Soliveres S., Smit C., Maestre F.T. Moving forward on facilitation research: response to changing environments and effects on the diversity, functioning and evolution of plant communities. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 2015. № 90 (1). P. 297–313. DOI: 10.1111/brv.12110.
3. Chan K.M., Balvanera P., Benessaiah K., Chapman M., Díaz S., Gómez-Baggethun E., Gould R., Hannahs N., Jax K., Klain S., Luck G.W., Martín-López B., Muraca B., Norton B., Ott K., Pascual U., Satterfield T., Tadaki M., Taggart J., Turner N. Opinion: Why protect nature? Rethinking values and the environment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2016. № 113 (6). P. 146–125.
4. Федеральный закон «Об охране озера Байкал» (№ 94-ФЗ от 01.05.1999).
5. Тимошкин О.А., Бондаренко Н.А., Волкова Е.А., Томберг И.В., Вишняков В.С., Мальник В.В. Массовое развитие зелёных нитчатых водорослей родов *Spirogyra* Link и *Stigeoclonium* Kutz. (CHLOROPHYTA) в прибрежной зоне Южного Байкала // *Гидробиологический журнал.* 2014. № 5. С. 15–26.
6. Деникина Н.Н., Дзюба Е.В., Белькова Н.Л., Хананев И.В., Феранчук С.И., Макаров М.М., Гранин Н.Г., Беликов С.И. Первый случай заболевания губки *Lubomirskia baicalensis*: исследование микробиома // *Известия РАН. Серия биологическая.* 2016. № 3. С. 315–322. DOI: 10.7868/S0002332916030024.
7. Water quality profiler with fast optical DO sensor. JFE Advantech [Электронный ресурс]. URL: [http://www.jfe-advantech.co.jp/eng/ocean/pdf/AAQ-RINKO\(E\)_201607.pdf](http://www.jfe-advantech.co.jp/eng/ocean/pdf/AAQ-RINKO(E)_201607.pdf) (дата обращения: 01.09.2018).
8. Vantage Pro2 Specification Sheets // Davis Instruments [Электронный ресурс]. URL: https://www.davisinstruments.com/product_documents/weather/spec_sheets/6152_62_53_63_SS.pdf (дата обращения: 12.10.2018).
9. Паршин А.В., Руш Е.А., Спиридонов А.М. Автоматизация процесса обеспечения экологического мониторинга озера Байкал с применением современных ГИС и WEB технологий // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* 2011. № 1. С. 82–87.
10. Смирнов С.В., Кучер К.М., Гранин Н.Г., Стурова И.В. Сейшевые колебания Байкала // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2014. Т. 50. № 1. С. 105–116. DOI: 10.7868/S000235151305012X.
11. Гранин Н.Г., Радзиминович Н.А., Кучер К.М., Челышницкий В.В. Генерация колебаний уровня озера Байкал удаленными сильными землетрясениями // *Доклады Академии наук (Науки о земле).* 2014. Т. 455. № 2. С. 224–228.

УДК 372.851

ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

^{1,2}Дубинин Н.Н., ^{1,2}Назарова Ю.Ю.

¹ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: nazarova_yukiru@mail.ru;

²«Сетевая инженерно-техническая школа», Екатеринбург, e-mail: nazarova_yukiru@mail.ru

Анализ существующих методов решения математических и физических задач показал, что все они имеют недостатки, а также, как правило, являются узкоспециализированными и предназначены для решения задач только одного типа. Это приводит школьника к необходимости запоминать разные методы и подбирать подходящий способ для каждой конкретной задачи. Поэтому целью данной работы является создание универсальной технологии, позволяющей решить практически любую задачу, которая устраняла бы проблемы существующих методов. В данной статье будет рассмотрена технология решения задач методом физического анализа, которая позволяет определить закон, который необходимо использовать для решения заданной задачи. Технология основана на физическом анализе, который подразумевает качественную проработку условий и составления схемы взаимодействия объектов задачи. Технология состоит из 10 этапов, в ходе которых определяется закон задачи, выражаются все неизвестные величины и в результате составляется уравнение для нахождения искомой величины. В результате данная технология как выступает в роли самостоятельного алгоритма решения задач, так и может дополнять технологию решения задач методом табличного анализа. Разработанная методика рассчитана на школьников любого возраста и применима к решению любых текстовых задач. В работе описаны этапы разработанной методики и приведен пример решения школьной задачи с помощью метода физического анализа.

Ключевые слова: методы решения задач, решение математических задач, решение физических задач, анализ задач, физический анализ, табличный анализ

TECHNOLOGY OF TASKS SOLVING BY METHOD OF PHYSICAL ANALYSIS

^{1,2}Dubinina N.N., ^{1,2}Nazarova Yu.Yu.

¹Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: nazarova_yukiru@mail.ru;

²Network engineering and technical School, Ekaterinburg, e-mail: nazarova_yukiru@mail.ru

Analysis of the existing methods for solving mathematical and physical tasks showed that they all have flaws, and also not each of them is designed to solve any tasks. Therefore, the aim of this work is to create a universal technology for solving any tasks that would eliminate the problems of existing methods. This article will consider the technology of solving tasks by the method of physical analysis, which allows you to determine the law on which the task is given. The technology is based on physical analysis, which implies a qualitative study of the conditions and drawing up a diagram of the interaction of the task objects. The technology can be divided into 10 stages, during which the law of the problem is determined, all unknown quantities are expressed and as a result equations are compiled to find the desired quantity. As a result, this technology acts as an independent algorithm for solving tasks, and it can complement the technology of solving tasks by the method of tabular analysis. The developed methodology is designed for schoolchildren of any age, and is applicable to solving any word tasks. The work describes the stages of the developed methodology and analyzed an example of solving a school task using the method of physical analysis.

Keywords: methods of tasks solving, solving mathematical tasks, solving physical tasks, task analysis, physical analysis, tabular analysis

В настоящее время в школьном образовании по естественнонаучным дисциплинам остро ощущается то, что школьники не умеют решать задачи. Анализируя популярные существующие методы решения задач, было выявлено, что каждый из них не покрывает всех потребностей школьников. Многие методы, такие как аналитико-синтетический метод [1], метод исчерпывающих проб, алгебраический метод, метод сведения к ранее решенным задачам, графический метод и другие, основываются на том, что школьникам нужно «увидеть» решение. Но не все ученики способны сразу сообразить, какой метод решения надо применять в той или иной задаче. Поэтому необходим универсальный метод, который приведет к решению любой задачи.

Авторами была разработана и описана технология решения задач методом табличного анализа [2], которая позволяет устранить пробелы других популярных методов. Однако для того, чтобы решить задачу методом табличного анализа, ученик должен хорошо представлять себе явление, о котором идет речь в задаче, определить закон, описывающий это явление. Но что делать, если закон несколько или явление в тексте задачи кажется таким запутанным, что трудно выявить участников? Для этого случая автором была разработана и представлена в данной статье технология решения задач методом физического анализа, которая позволяет на первом этапе анализа условия задачи выявить как всех участников, так и необходимые законы, а затем приступить к решению задачи.

Ранее в статье «Технология решения задач методом табличного анализа» нами уже был разработан один универсальный метод решения текстовых задач. Однако он имеет ограничение: для того, чтобы применять технологию решения задач методом табличного анализа, необходимо знать закон, на который дана задача. Целью данной работы является разработка такого метода решения задач, с помощью которого можно бы было преодолеть затруднения, которые могут возникать на начальной стадии табличного анализа, чтобы потом решить задачу либо методом физического, либо табличного анализа. В данной работе будет разработан подход, который устранил данное ограничение табличного анализа и позволит приступить к решению задачи, даже если закон нам еще не понятен.

Материалы и методы исследования

Универсальный подход, который будет разработан в данной работе, будет иметь название «Технология решения задач методом физического анализа». Данная технология устраняет недостатки метода табличного анализа задачи, для которого требуется сразу после прочтения условия задачи точное определение закона, на который дана задача, а также ее участников и их взаимосвязей друг с другом.

Под «участниками» понимаются объекты, имеющие определенные характеристики, которые взаимодействуют по определенным правилам – законам.

Слово «технология» в данном контексте подразумевает алгоритм, следуя которому задача будет обязательно решена. В частности это относится к задачам уровня средней школы, которые имеют однозначное решение.

Результаты исследования и их обсуждение

Технология решения задач методом физического анализа основана на построении схем для визуализации процессов происходящих в задаче. Схема позволяет понять, как взаимодействуют все объекты задачи. Физический анализ помогает определить закон, на который дана задача. Технологию можно представить в виде 10 этапов:

Этап 1. Внимательно прочитать условия. На первом этапе необходимо разобраться в условиях задачи. Необходимо убедиться, что каждое слово понятно. Если встречаем незнакомое слово в тексте задачи, то прежде чем приступить к решению, обязательно выясняем значение этого слова, так как оно может существенно менять смысл задачи.

Этап 2. Составление «Дано». После прочтения условий задачи необходимо сделать формализованную запись этих условий. Составляется раздел «Дано». В этот раздел («Дано») необходимо занести численные значения всех известных величин из условий задачи. Лучше сразу перевести все заданные

значения в одинаковые размерности. Также необходимо указать все скрытые данные, явно не указанные в задаче, но которые можно взять из справочника. Например, в задаче на свободное падение тел необходимо знать ускорение свободного падения, хотя в задаче об этом ничего не сказано. Ученику было бы легче, если бы в «Дано» сразу было отмечено, что ускорение свободного падения взять, например, 10 м/с^2 . А главное, в «Дано» надо обозначить искомую величину, которую необходимо найти по условиям задачи. Это позволит всегда помнить о цели решения задачи, а также о том, в какой размерности должен быть ответ.

Этап 3. Анализ задачи – составление схемы. Важный этап для решения задачи методом физического анализа – это составление схемы. Именно на этом этапе приступаем к физическому анализу задачи. Под физическим анализом понимаем составление схемы или рисунка, на котором изображено то явление, о котором идет речь в задаче. Схема должна быть такой, чтобы на ней хорошо были видны все характеристики явления. Все буквенные данные должны присутствовать на рисунке. В геометрии всегда применяют физический анализ. Также физический анализ распространен в задачах по физике.

Необходимо отметить, что если ученик не понимает само явление, о котором идет речь в задаче, и не знает законов, описывающих это явление, то это означает, что ученику еще рано решать данную задачу. Вместо решения задачи он должен сначала изучить данное явление, а потом уже применять метод физического или табличного анализа [2].

Этапы 2 и 3 лучше выполнить параллельно. Для того чтобы проверить, насколько качественно выполнены первые три этапа, проверьте, можете ли вы отложить учебник с условиями задачи. Если больше не возникает потребности заглянуть в текст, значит, первые этапы выполнены качественно.

Этап 4. Запись законов. Решение должно начинаться с записи законов (формул), в которые входит искомая величина. В физике каждая величина обозначается своей буквой, в математике неизвестные обозначаются буквами «х», «у», «z»... и т.д. Закон необходимо выписывать с учетом тех обозначений, которые использовали в разделе «Дано» и на схемах.

Этап 5. Промежуточные искомые. Выражаем искомую величину из закона и смотрим: каких величин не хватает в «Дано», чтобы ее найти. Эти величины становятся «промежуточными искомыми». Необходимо выписать промежуточные искомые.

Этап 6. Законы для «промежуточных искомых». Повторяем этап 4 для «проме-

жточных искомым»: выписываем законы (формулы) для «промежуточных искомым величин» и выражаем их.

Этапы 5 и 6 необходимо повторять до тех пор, пока не выразятся все «промежуточные искомые величины». Отметим, что из одного закона в одной ситуации нельзя найти две величины. Поэтому, если закон уже использовался для нахождения одной величины в данной ситуации, то для нахождения другой величины надо использовать другие законы, либо другие ситуации задачи, где еще фигурирует «промежуточная искомая величина». Под «другими ситуациями» мы понимаем те же объекты, но находящиеся в изменившихся отношениях между собой по каким-либо причинам из условий задачи. Должны прийти к тому, что все величины выражены через известные величины и через искомую величину, либо предыдущую «промежуточную искомую величину».

Этап 7. Подставляем «промежуточные искомые». Подставляем «промежуточные искомые величины» в соответствующие формулы, для которых их искали. Подставляем вплоть до первой формулы с искомой величиной. Если «промежуточные искомые величины» выражались через предыдущие искомые, то получаем уравнение относительно искомой величины. Иногда вместо одного уравнения можем получить систему нескольких уравнений.

Этап 8. Выражаем искомую величину из конечного уравнения. Решаем уравнение относительно искомой величины согласно технологии решения уравнений (или системы уравнений). Находим искомую величину в общем виде.

Этап 9. Находим значение искомой величины. Перед расчетом рекомендуем проверить, что вы верно выделили искомую величину. Для этого в конечное уравнение подставляем размерности всех задействованных в уравнении значений и выполняем с ними те же математические действия.

В результате должна получиться размерность как у искомой величины в условиях задачи. Если размерность совпала, то переходим к выполнению математических операций с числами.

Подставляем в общее решение численные значения. Все значения должны быть с единицами измерения. Если вы не проверили отдельно размерность, то можете сразу при расчете численных значений выполнять те же действия с их единицами измерений. Если в результате всех расчетов размерность получилась такая, какая должна быть у искомой величины, и все расчеты были проведены верно, значит задача решена.

Этап 10. Записываем ответ. Помните, что в ответе задачи важно указать не только численное значение, но и размерность.

После того, как мы разобрали каждый этап, предлагаем применить их на практике и разобрать пример решения задачи с использованием технологии решения задач методом физического анализа.

Для разбора примера возьмем не сложную задачу, но хорошо иллюстрирующую все этапы технологии. *Задача:*

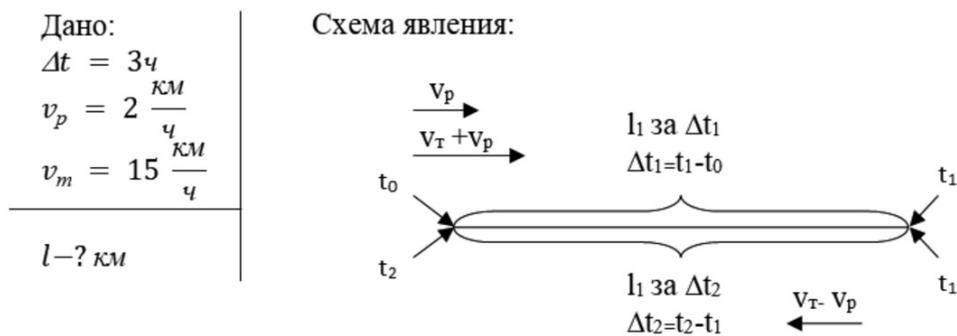
На речном трамвайчике можно совершить трехчасовую прогулку до поворота реки и обратно. Скорость течения реки 2 км/ч. Собственная скорость трамвайчика 15 км/ч. Какова длина прогулочного маршрута?

Этап 1. Внимательно прочитайте условие. Читаем условие.

Этап 2. Составление «Дано». Выписываем все известные значения из условий задачи и указываем искомую величину – длину всего маршрута l .

Этап 3. Анализ задачи – составление схемы. Выполним физический анализ и составим схему движения трамвайчика по реке. Подпишем переменные. Схема позволяет увидеть, что данная задача на закон движения по реке (по течению и против течения). Схема представлена на рисунке.

На рисунке представлены «Дано» и схема явления после выполнения этапов 2 и 3.



«Дано» задачи и схема явления, о котором говорится в задаче

Этап 4. Запись законов.

Закон для нахождения искомой величины L – общий закон, согласно которому общий путь равен сумме путей на отдельных участках, из которых состоит путь: $L = L1 + L2$. Подставим обозначения из схемы и получим закон относительно нашей задачи:

$$L = L1 + L1 = 2*L1. \quad (1)$$

Этап 5. Промежуточные искомые. Так как значение величины $L1$ нам не известно из «Дано», она становится промежуточной искомой: $L1 = ?$ км.

Этап 6. Законы для «промежуточных искомого».

6.1. *Выражаем промежуточную искомую $L1$.*

Закон для нахождения промежуточной искомой величины $L1$ – общий закон скорости $V = L/\Delta t$ на первом участке, где трамвайчик идет по течению реки:

$$L1 = (V_{\text{т}} + V_{\text{р}})*\Delta t_1. \quad (2)$$

6.2. *Выражаем промежуточную искомую Δt_1 .*

Величина Δt_1 не известна из «Дано». Теперь она становится промежуточной искомой: $\Delta t_1 = ?$ ч. Эта величина фигурирует в задаче на первом участке движения (по течению реки), но мы не можем использовать закон скорости, так как из него на этом участке мы нашли величину $L1$.

Закон для нахождения промежуточной искомой величины Δt_1 – общий закон, который получился у нас в анализе (на схеме), согласно которому общее время движения равно сумме интервалов времени на отдельных участках, из которых состоит путь: $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$. Выразим Δt_1 :

$$\Delta t_1 = \Delta t - \Delta t_2. \quad (3)$$

$$L = \frac{2*\left(\frac{15\text{км}}{\text{ч}} + \frac{2\text{км}}{\text{ч}}\right)*3\text{ч}}{1 + (15\text{ км/ч} + 2\text{ км/ч}) / (15\text{ км/ч} - 2\text{ км/ч})} = 44,2\text{ км}. \quad (9)$$

Этап 10. Записываем ответ.

Ответ: Длина всего прогулочного маршрута равна 44,2 км.

Задача решена.

Закключение

Таким образом, была разработана и применена на практике технология решения задач методом физического анализа. Данная технология является универсальным методом, который позволяет решать любые текстовые задачи, включая задачи по геоме-

6.3. *Выражаем промежуточную искомую Δt_2 .*

Величина Δt_2 не известна из «Дано». Она тоже становится промежуточной искомой, $\Delta t_2 = ?$ ч.

Закон для нахождения промежуточной искомой величины Δt_2 – общий закон скорости $V = L/\Delta t$ на втором участке, где трамвайчик идет против течения реки: $L1 = (V_{\text{т}} - V_{\text{р}})*\Delta t_2$. Выразим Δt_2 :

$$\Delta t_2 = L1/(V_{\text{т}} - V_{\text{р}}). \quad (4)$$

Этап 7. Подставляем «промежуточные искомые».

Выразим Δt_1 :

$$\Delta t_1 = \Delta t - L1/(V_{\text{т}} - V_{\text{р}}). \quad (5)$$

А затем найдем $L1$:

$$L1 = (V_{\text{т}} + V_{\text{р}})*(\Delta t - L1/(V_{\text{т}} - V_{\text{р}})). \quad (6)$$

Этап 8. *Выражаем искомую величину из конечного уравнения.*

Из уравнения, полученного на 7 этапе, выражаем $L1$:

$$L1 = \frac{(V_{\text{т}} + V_{\text{р}})*\Delta t}{1 + (V_{\text{т}} + V_{\text{р}})/(V_{\text{т}} - V_{\text{р}})}. \quad (7)$$

Подставляем промежуточную искомую величину $L1$ в формулу для искомой величины L :

$$L = \frac{2*(V_{\text{т}} + V_{\text{р}})*\Delta t}{1 + (V_{\text{т}} + V_{\text{р}})/(V_{\text{т}} - V_{\text{р}})}. \quad (8)$$

Получили конечное уравнение.

Этап 9. Находим значение искомой величины.

В конечное уравнение подставляем численные значения из «Дано»:

трии и задачи на комбинацию различных законов, что трудно сделать методом табличного анализа.

Технология решения задач методом физического анализа является более распространенной и интуитивно понятной схемой решения задач. На практике большинство задач так или иначе решаются с помощью физического анализа. В данной статье был формализован и описан метод решения задач с помощью физического анализа в том виде, который позволяет решать задачи максимально эффективно.

Более того, разобранная технология может являться дополнением технологии табличного анализа: с помощью физического анализа определяем участников задачи, характеристики участников и законы, связывающие их, а затем переходим к решению задачи с помощью табличного анализа. В задачах со многими законами, после применения схем физического анализа с выявлением всех характеристик участников, возможно поэтапное решение задачи с помощью табличного анализа по каждому закону. Для этого в ходе решения задачи составляется несколько таблиц, связанных использованием результатов друг друга. В такой комбинации применения технологий физического и табличного анализа, мы, с помощью физического анализа, гарантированно разбираемся с явлениями и законами, необходимыми для решения задачи, а с помощью использования табличного анализа быстрее составляем уравнения и делаем вычисления.

В результате, технологии физического и табличного анализа задач дополняют друг друга, позволяя решить главную методическую задачу обучения школьников математике – разработать полный комплекс методик решения текстовых задач, который позволяет решать любые задачи школьного курса, включая задачи по физи-

ке и геометрии. Так как данные технологии доказали свою целесообразность, именно они используются для разбора задач на занятиях, проводимых преподавателями Сетевой инженерно-технической школы СИТШ [3, 4], а также с помощью данных технологий будут организовываться онлайн-курсы для организации дистанционного обучения с помощью Систем дистанционного обучения [5].

Список литературы

1. Яковлева Е.В. Использование аналитико-синтетического метода в процессе решения физических задач // В мире научных открытий. 2015. № 3.2 (63). С. 1174–1184.
2. Дубинин Н.Н., Назарова Ю.Ю. Технология решения задач методом табличного анализа // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=27974> (дата обращения: 06.09.2018).
3. Берг Д.Б., Калинин В.В., Назарова Ю.Ю. Открытый университет устойчивого развития: школьное отделение // Международный электронный журнал. Устойчивое развитие: наука и практика. Дубна, 2015. Вып. 2 (15). URL: <http://www.ygazvitie.ru/?p=2017> (дата обращения 06.09.2018).
4. Берг Д.Б., Бажутин В.П. Учебно-производственный кластер в г. Шадринске // Зауральский научный вестник. 2013. № 2 (4). С. 89–92.
5. Назарова Ю.Ю., Божко Ю.О., Дубинин Н.Н. Разработка ИТ-инфраструктуры системы обеспечения учебного процесса в малонаселенных районах арктической зоны РФ: сборник трудов семинара IT&MathAZ. 2018. Vol. 2109. С. 49–56. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2109/paper-09.pdf> (дата обращения: 06.09.2018).

УДК 371.322.6

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ЛОГОРИТМИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАНЯТИЙ ПОДВИЖНЫМИ ИГРАМИ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Иванова Л.Ю., Иванова А.П.

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск,
e-mail: ivanovalu-1961@mail.ru, al.moiseeva@yandex.ru

Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» гласит, что каждый ребенок имеет право быть в равной доступности к образованию. Педагогическая деятельность требует от педагога наличия системы специальных знаний в области обучения и воспитания детей с ограниченными возможностями здоровья. Возникает необходимость в разработке новых универсальных методик, нацеленных на повышение уровня речевого развития и речедвигательной координации применимых в обучении к студентам с ограниченными возможностями здоровья, и к студентам, входящим в основную группу здоровья. Выявлены следующие особые образовательные потребности студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 физическая культура: развитие двигательной сферы в сочетании со словом и музыкой и развитие координационных способностей. Разработана и проверена в подготовительной части занятий подвижными играми методика на основе комплекса логоритмических упражнений для студентов-первокурсников с ограниченными возможностями здоровья. Комплекс упражнений направлен на развитие мелкой моторики, силы и высоты голоса; речедвигательной координации; на развитие умений регулировать мышечный тонус; управлять голосом; контролировать темп речи на основе музыкального темпа. В процессе исследования просматривается универсальность воздействия логоритмических упражнений на студентов с ограниченными возможностями здоровья, совместно со студентами, входящими в основную группу здоровья. Открываются новые пути будущему учителю физической культуры в изучении, разработке и применении в профессиональной деятельности, как универсальных методик, так и более конкретных, узконаправленных, соответствующих ограниченным возможностям здоровья детей.

Ключевые слова: подвижные игры, будущий учитель, логоритмические упражнения, ограниченные возможности здоровья, универсальность, подготовительная часть занятия

UNIVERSALITY SPEECH THERAPY RHYTHMICS IN PREPARATORY PART OF ENGAGING IN MOVABLE GAMES FUTURE TEACHER OF PHYSICAL CULTURE

Ivanova L. Yu., Ivanova A. P.

Yugra state University, Khanty-Mansiysk, e-mail: ivanovalu-1961@mail.ru, al.moiseeva@yandex.ru

Federal law «About education in Russian Federation», says of that every child has a right to be in equal availability to education. Pedagogical activity requires from the teacher of presence of the system of the special knowledge in area of educating and education of children with limit possibilities of health. There is a necessity for development of the new universal methodologies aimed at the increase of level of speech development and motion with words co-ordination applicable in educating to the students with limit possibilities of health, and to the students included in the basic group of health. The next special educational necessities of students-freshmen are educed to direction of preparation 49.03.01 physical culture: development of motive sphere in combination with a word and music and developing co-ordinating flairs. Worked out and tested in preparatory part of engaging in movable games methodology on the basis of complex of speech therapy rhythemics for students-freshmen with limit possibilities of health. . The complex of exercises is sent to development of fine motor skills, force and height of voice; motion with a word co-ordinations; on development of abilities to regulate a myotonus; to manage voice; to control the rate of speech on the basis of musical rate. In the process of research universality of influence of speech therapy rhythemics exercises is looked over on students with limit possibilities of health, together with the students included in the basic group of health. New ways are opened to the future teacher of physical culture in a study, development and application in professional activity, both universal methodologies and more certain, узконаправленных, corresponding to limit possibilities of health of children.

Keywords: outdoor games, future teacher, speech therapy rhythemics, limit possibilities of health, universality, preparatory part of employment

*Слово и действие становятся
высоко значительными, когда
музыка берет их на свои крылья.*

А.В. Луначарский

Совсем недавно детей, имеющих особые образовательные потребности, обучали отдельно от общего образовательного процесса. В настоящее время запрещено дискриминировать детей от системы общего образования. Для решения данной пробле-

мы президентом РФ 29.12.2012 г. подписан Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», в котором говорится о том, что каждый ребенок имеет право быть в равной доступности к образованию [1].

В исследовании С.В. Алехиной и ее коллег выявлена тенденция к смещению в сторону более низкого эмоционального принятия педагогами детей с особенностями развития, в том числе с интеллектуальными

нарушениями. Возникает профессиональный «барьер», когда учитель психологически не принимает ребенка, если не уверен в успешности его обучения [2].

Система инклюзивного образования нацелена на совокупное обучение здоровых детей и детей, требующих к себе более внимательного отношения педагогов. Успешность совместного обучения во многом определяется компетентностью педагогов массовой школы, способных профессионально решать проблемы детей.

Педагогическая деятельность требует от педагога наличия системы специальных знаний в области обучения и воспитания детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Педагогу необходимы психолого-педагогические знания и умения в области специальной (коррекционной) педагогики, специальной психологии, в том числе адаптивной физической культуры.

Учитывая тот факт, что поступление лиц с ОВЗ в Гуманитарный институт Югорского государственного университета по направлению подготовки 49.03.01 «Физическая культура» не является исключением из системы инклюзивного образования, в рабочие программы дисциплин внесены изменения, учитывающие дополнительные формы организации обучения таких студентов.

Направлению подготовки «Физическая культура» необходимы методики, по которым могут одновременно заниматься студенты с ОВЗ, а также студенты, входящие в основную группу здоровья. Возникает необходимость в разработке новых универсальных методик, эффективно действующих как в образовательном процессе, так и в профессиональной деятельности будущего учителя физической культуры.

В нашем понимании повышение уровня речевого развития и речедвигательной координации требуется как для студентов с ОВЗ, так и для студентов, входящих в основную группу здоровья.

На основании вышесказанного целью нашего исследования является изучение особых образовательных потребностей студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 «Физическая культура» и разработка методики, основанной на комплексе логоритмических упражнений, способствующих рациональному использованию голосообразовательного аппарата, развитию речедвигательной координации в процессе практических занятий.

Исходя из этого, решались следующие задачи:

1. Изучить литературу по проблеме исследования.

2. Выявить особые образовательные потребности студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 физическая культура.

3. Разработать специальную методику на основе комплекса логоритмических упражнений для подготовительной части практических занятий студентов-первокурсников данного направления.

4. Проверить методику, основанную на комплексе логоритмических упражнений, в подготовительной части занятий подвижными играми со студентами первого курса.

5. Проанализировать эффективность данной методики для студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 физическая культура.

Материалы и методы исследования

В организации нашего исследования применены следующие методы: метод сбора информации, метод анализа, метод педагогических наблюдений, а также метод математической статистики.

В процессе работы приемной комиссии по набору абитуриентов, на основании документального подтверждения о состоянии здоровья, выявлены особые образовательные потребности студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 «Физическая культура». В исследовании принимала участие группа первокурсников из 30 студентов, прошедших успешно контрольные испытания на вступительных экзаменах, из которых выявлены 3 студента с речевой патологией, 2 студента со слабо развитыми координационными способностями. Изучен учебный план по программе бакалавриата. Для исследования определена учебная дисциплина «Элективные курсы по физической культуре», наиболее подходящим разделом в ней являются «подвижные игры». В качестве испытуемых выбраны студенты-первокурсники по данному направлению подготовки.

Результаты исследования и их обсуждение

Обучение и воспитание лиц с различными аномалиями развития, в том числе и с речевой патологией, требуют новых методик, воздействующих на моторику и речь занимающихся.

Для того, чтобы научить студента-первокурсника владеть четким проговариванием звуков, правильным интонированием, чувством темпа, ритма, силой голоса, а также умением координировать движение с речью, предпринята попытка разработать и проверить методику, основанную на комплексе логоритмических упражнений, в подготовительной части занятий подвижными играми.

Комплекс упражнений, в сочетании с музыкой и словом, направленный на решение образовательных оздоровительных и коррекционных задач, мы называем логоритмикой. Процесс выполнения

логоритмики является организующим началом занятий подвижными играми. Индивидуальные свойства нервной системы человека определяют ощущение времени, внутреннее чувство темпа, свойственные только ему одному, а музыка диктует свой темп, ритм, способствует развитию воображения, позволяет скрытому от окружающих состоянию души проявиться во внешнем мире. В нашем случае связывающая воедино слово, музыку и движения, логопедическая ритмика выполняет коррекционную функцию, основной целью которой является преодоление речевого нарушения путём развития и коррекции двигательных умений.

Аристотель – профессиональный мыслитель, занимавшийся разработкой вопросов мировоззрения, говорил, что музыка способна оказывать известное воздействие на этическую сторону души; и раз музыка обладает такими свойствами, то, очевидно, она должна быть включена в число предметов воспитания молодежи.

Э. Гренлюд и Н. Оганесян говорят о существенном влиянии музыкального ритма на процесс коллективной деятельности и совместные действия людей. В связи с этим отмечают, что ритм является основной предпосылкой для координации, а совместные ритмические переживания в группе дают чувство сопричастности, солидарности, сопринадлежности [3].

Говоря о системе ритмического воспитания, швейцарский педагог и композитор Ж.Е. Далькроз отмечает, что под воздействием внешней ритмической стимуляции целенаправленно воспитывается «внутренний ритм», способствующий формированию физической и духовной красоты человека. Ритм избавляет от физических и психологических комплексов, помогает осознать свои силы и обрести радость жизни через творчество. В книге «Ритм» он рекомендует свои методики преподавателям ритмики, сольфеджио, фортепиано, учащимся музыкальных и театральных учебных заведений [4].

Преподавателями вуза отмечается тот факт, что речедвигательная координация позволяет учителю физической культуры владеть свободно искусством живого слова в разных темпо-ритмических вариантах профессионального действия. Голос, как профессиональный инструмент, становится сильным, подвижным, гибким, звучным, имеет широкий диапазон и создает атмосферу взаимопонимания участников образовательного процесса [5, с. 75].

Существует множество авторских методик по логопедической ритмике В.А. Гри-

нер, Г.А. Волковой, Н.А. Рычковой и ряда других авторов, направленных на преодоление речевого нарушения путем развития двигательной сферы в сочетании со словом и музыкой. Они отмечают, что дети имеют разный уровень возможности воспроизводить простые структурные элементы, поэтому необходимо соблюдать последовательность проведения логоритмических занятий и упражнений с учетом принципа постепенного усложнения неречевых и речевых задач.

Некоторые из них мы выбрали в качестве основы для работы со студентами-первокурсниками по направлению подготовки «Физическая культура», опираясь на законы методики обучения двигательному действию, применяем их в подготовительной части занятий подвижными играми. Первоначальным этапом подготовительной части занятия становится выполнение студентами упражнений на регуляцию мышечного тонуса.

Упражнение «Снеговик» с сопровождением легкой фоновой музыки облегчает осознанное управление движениями своего тела.

На первом уровне студентам предлагается максимально напрячь последовательно части тела, начиная с шеи, затем правую, левую руки, правую, левую ноги и через несколько секунд расслабить. На втором уровне студенты осваивают напряжение и расслабление нескольких частей тела одновременно: шея и голова, правая рука и левая рука, правая нога и левая нога. На третьем уровне выполняют одновременно напряжение всего тела, а через несколько секунд стремятся к полному расслаблению.

Упражнение «Паровоз» способствует развитию дыхательной системы, выработке глубокого (диафрагмального) дыхания, силы голоса, а также совершенствованию выразительности речи. На первом уровне студенты многократно отрывисто произносят согласные звуки: [с], [ш], [ф], [ц], [ч]. На втором уровне задание повторяется, но к звукам добавляется действие:

звук [с] – имитировать насос, накачивающий колесо;

звук [ш] – показать распилку бревна двуручной пилой;

звук [ф] – пародировать передвижения ежа;

звук [ц] – имитировать прыжок белки;

звук [ч] – имитировать движение поезда.

Упражнение «Лесенка» развивает силу и высоту голоса.

Поочередное произношение гласных звуков: [а], [у], [о], [э], [и], [ы], начиная от

шепота, постепенно увеличивая силу, закончить максимально громким голосом.

Упражнение «Тишина» развивает умение управлять голосом

Текст	Двигательное действие
Была тишина, тишина, тишина	шепот
Вдруг грохотом грома сменилась она	громкий голос
И вот уже дождик тихонько – ты слышишь?	тихий голос
Закрапал, закрапал, закрапал по крыше	тихий голос
Наверное, сейчас барабанить он станет	нормальный голос
Уже барабанит! Уже барабанит!	громкий голос

Упражнение «Скакалка» Варьируя темпом, ритмом, под музыку, под счет, стремясь к четкому проговариванию звуков, к правильному интонированию, таким образом, происходит развитие мелкой моторики.

Текст	Двигательные действия
Я скачу, я верчу	И.П. О.С. – Руки в сторону, кисти в кулак, круговые движения большими пальцами внутрь
новую скакалку,	круговые движения большими пальцами наружу
А хочу, научу	круговые движения кистью наружу
Галю и Наталку,	круговые движения кистью внутрь
Вот так,	И.П. – Руки вперед, разжимание пальцев
Вот так,	Сжимание пальцев
посреди дорожки	Разжимание пальцев, хлопок руками
Раз вперед,	Кисти в замок
два назад	Кисти в обратный замок
и на правой ножке	Тук правым кулаком о левый сверху и снизу

Упражнение «Шаг и бег» Позволяет на основе музыкального темпа и двигательного действия контролировать темп речи.

Ходьба в умеренном темпе друг за другом, под музыку В. Шаинского «Вместе весело шагать». Перейти на бег под музыку З. Компанец «Воробьиная песенка». В процессе выполнения упражнения смена музыки происходит несколько раз.

Упражнение «Считалки-числовки» способствует развитию речедвигательной координации.

Текст	Двигательные действия
Вышли мышки как-то раз	Ходьба на месте
Посмотреть который час	Руки на пояс, повороты головой вправо/влево
Раз, два, три, четыре	Бег с захлестыванием голени
Мышки дернули за гири	Движение руками сверху вниз
Вдруг раздался громкий звон	Ладонями закрыть уши
Побежали мышки вон.	Все разбегаются

Рассуждая о результатах нашего исследования, отмечаем, что за период первого семестра, из числа студентов с речевой патологией двое от низкого уровня проговаривания звуков перешли на средний уровень, овладев четким произношением команд, существующих в спортивной терминологии. Научились правильно интонировать и варьировать силой голоса. Один из трех первокурсников с низкого уровня перешел на высокий, чувствуя темп, ритм проговаривания звуков, уверенно координируя речь с движением, как под счет, так и под музыкальное сопровождение. Студенты со слабо развитыми координационными способностями, при работе в коллективе смогли преодолеть «барьер» в общении с группой и выполнить без ошибок комплекс упражнений в заданном темпе, ритме. Студенты, входящие в основную группу здоровья, проявили интерес к логоритмическим упражнениям. Выстраивали свои комбинации в сочетании слов и действий. Вносили изменения в выполнение упражнений для студентов с ОВЗ, пытались применить в процессе занятий подвижными играми.

В качестве выводов отмечаем:

1. Изучена литература по проблеме исследования. Основателем системы ритмического воспитания, избавляющей от физических и психологических комплексов, помогающей осознать свои силы, является швейцарский педагог и композитор Ж.Е. Далькроз. Из множества авторских методик по логопедической ритмике для исследования взяты за основу методики В.А. Гринер, Г.А. Волковой, Н.А. Рычковой.

2. Выявлены следующие особые образовательные потребности студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 «Физическая культура»: развитие двигательной сферы в сочетании со словом и музыкой и развитие координационных способностей.

3. Разработана специальная методика на основе комплекса логоритмических упражнений для студентов-первокурсников с ОВЗ данного направления. Комплекс упражнений направлен на развитие мелкой мо-

торики, силы и высоты голоса; речедвигательной координации; на развитие умений регулировать мышечный тонус; управлять голосом; контролировать темп речи на основе музыкального темпа.

4. Данная методика прошла проверку в подготовительной части занятий подвижными играми со студентами первого курса.

5. Проанализирована и выявлена эффективность данной методики для студентов-первокурсников по направлению подготовки 49.03.01 «Физическая культура».

Логоритмические упражнения применяемые в подготовительной части занятий подвижными играми со студентами первого курса, дают возможность педагогам увидеть универсальность их воздействия, которая проявляется не только в повышении уровня речевого развития и речедвигательной координации, но и в эффективной форме организации практических совместных занятий студентов с ОВЗ со студентами, входящими в основную группу здоровья. Открываются новые пути будущему

учителю физической культуры в изучении, разработке и применении в профессиональной деятельности, как универсальных методик, так и более конкретных, узконаправленных, соответствующих ограниченным возможностям здоровья в обучении и воспитании детей.

Список литературы

1. Об образовании в Российской Федерации (Федеральный закон) № 273-ФЗ (последняя редакция) одобрен Советом Федерации 26 декабря 2012 г., подписан 29 декабря 2012 г., вступает в силу 1 сентября 2013 г., принят Государственной Думой 21.12.2012 // Российская газета. 2012 г. 31 декабря (Федеральный выпуск № 5976 (303)).

2. Алехина, С.В. Готовность педагогов как основной фактор успешности инклюзивного процесса в образовании // Психологическая наука и образование. 2011. № 1. С. 81–92.

3. Гренлюд Э. Танцевальная терапия, теория, методика, практика. Издательский центр «Речь», 2011. 296 с.

4. Жак-Далькроз Э. Ритм. М.: Классика XXI в., 2001. 247 с.

5. Иванова Л.Ю., Иванов О.Н. Голос как профессиональный инструмент в деятельности учителя физической культуры // Научное издание Вестник ЮГУ. 2015. № 1 (36). С. 72–75.

УДК 378.14

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ «ДИСКУССИОННАЯ ПЛОЩАДКА
ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРОБЛЕМАМ ПЕДАГОГИКИ И ПСИХОЛОГИИ
НАЧАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ – УЧЕБНОЕ СОБЫТИЕ»
ПРИ ПОДГОТОВКЕ УЧИТЕЛЕЙ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ**

Минаева Е.В., Иванова Н.В.

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина» (Мининский университет), Нижний Новгород,
e-mail: eminaeva69@mail.ru, ivanova30nv@yandex.ru*

Статья рассматривает особенности построения и реализации дисциплины «Дискуссионная площадка по современным проблемам педагогики и психологии начального образования – учебное событие» в высшей школе. Дисциплина реализуется при подготовке учителей начальной школы. При раскрытии понятия образовательного события использовано определение, предложенное в работах В.И. Слободчикова, М.Д. Хилиной и А.А. Попова. Дисциплина построена с учетом признаков учебного события: нетрадиционность в реализации дисциплины, ведущая роль различных моделей общения, многослойность образовательного события, возможность импровизации со стороны участников и пролонгации полученных результатов в последующей деятельности. Выделены цели, задачи дисциплины, определены временные ориентиры прохождения дисциплины, перечислены ее содержательные единицы. В качестве содержания выбраны особенности формирования эмоционального интеллекта и младшие школьники группы риска, как одни из наиболее актуальных проблем современной начальной школы. Данные разделы конкретизированы в темах дисциплины, где рассматриваются сами понятия, причины, виды, формы, особенности проявлений, онтогенез развития, особенности формирования и коррекции. Представлены активные формы обучения, используемые при реализации дисциплины, описаны их значения. В качестве активных форм обучения использованы деловая игра и групповая дискуссия.

Ключевые слова: учебное событие, дисциплина, активные методы обучения

**FEATURES OF CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION DISCIPLINES
IN HIGHER EDUCATION «DISCUSSION PLATFORM ON CONTEMPORARY
PROBLEMS OF PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY OF PRIMARY EDUCATION
AND TRAINING EVENT» IN PREPARATION PRIMARY SCHOOL TEACHER**

Minaeva E.V., Ivanova N.V.

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,
e-mail: eminaeva69@mail.ru, ivanova30nv@yandex.ru*

The article considers the features of the construction and implementation of the discipline «Discussion platform on modern problems of pedagogy and psychology of primary education – an educational event» in higher education. The discipline is implemented in the training of primary school teachers. In disclosing the concept of the educational event used the definition proposed in the works of V.I. Slobodchikov, M.D. Helenou and A.A. Popov. The discipline is built taking into account the signs of the educational event: non-traditional in the implementation of the discipline, the leading role of various models of communication, multilayered educational events, the possibility of improvisation by the participants and the prolongation of the results in the follow-up. Selected goals, objectives, defined timelines for the passage of the disciplines listed its meaningful units. Features of formation of emotional intelligence and younger schoolchildren of risk group as one of the most actual problems of modern primary school are chosen as the contents. These sections are concretized in the subjects of the discipline, where the concepts themselves, causes, types, forms, features of manifestations, ontogenesis of development, features of formation and correction are considered. The active forms of training used in the implementation of the discipline are presented, their meaning is described. Business game and group discussion are presented as active forms of training.

Keywords: educational event, discipline, active teaching methods

К современному выпускнику высшего учебного заведения предъявляются особые требования. Становится важным не только владеть профессиональными знаниями, но и уметь их применять при решении профессиональных задач. В ряду приоритетных подходов современного высшего образования выделяются компетентностный, деятельностный подходы, становится важным повышение активности, самостоятельности

и, как следствие, сознательности студентов вуза. Будущий специалист должен уметь интегрировать знания различных дисциплин в процесс решения профессиональных задач. Тренинг подобных умений необходим уже в стенах вуза. Это требует поиска новых форм организации образовательного процесса.

В связи с этим перед преподавателями высшей школы стоит задача разработки дис-

циплин курса с учетом требований времени. Нами была предпринята попытка создания дисциплины «Дискуссионная площадка по современным проблемам педагогики и психологии начального образования – учебное событие».

Понятие образовательного события имеет различные трактовки. Мы остановились на определении В.И. Слободчикова [1], М.Д. Жилиной, А.А. Попова [2]. Образовательное событие рассматривается как ситуация, которая проживается, осознается человеком как значимая в его собственном образовании и времени. Образовательное событие является для личности обучающегося фактом увиденного, пережитого, оставившего глубокое впечатление, способствующее не столько решению задач обучения, сколько профессиональному воспитанию, развитию профессионально-личностных качеств.

Образовательное событие предполагает режим познания – открытия. Обучающийся открывает новое знание в процессе совместной деятельности, с обязательным личным вкладом в результат. Образовательное событие несет личный смысл для участников. В процессе учебного события важна ориентация не только на себя, но и другого. Важно постараться выйти из контекста личного понимания происходящего, расширить собственный опыт за счет включения опыта участников события. Что позволяет увидеть образовательное явление с разных сторон, наметить творческие пути к познанию истины. Происходит внутреннее обогащение как результат постоянного обмена ценностями и смыслами. Это требует специфических форм взаимодействия. Предполагается открытый тип отношений, диалогическая форма взаимодействия всей участников события. Субъекты учебного события участвуют в различных видах деятельности. Отмечается совместное эмоциональное проживание учебного события.

Выделены специфические характеристики образовательного события: [3–5].

– Выход за рамки привычного уклада образовательной организации.

– наличие культурно-исторического прототипа как модели человеческого общения (научная конференция, круглый стол, симпозиум, экскурсия и т.д.) с применением, если есть необходимость, сопровождающей его атрибутики, традиций;

– многослойность образовательного события, обусловленного сочетанием в нем различных видов деятельности, форм взаимодействия, специальной организацией коммуникации, одиночных процедур;

– возможность и уместность импровизации, порождения новых смыслов, в этой

связи используются игра, диалог, групповая работа, метод проектов, образовательное путешествие, погружение; образовательное событие становится источником новых проектов, ряда последующих событий.

Для нашего исследования, кроме учебного события является важным описание следующих дифиниций: компетентностный, деятельностный подходы.

Под компетенцией понимается круг полномочий лица или учреждения, для решения которых лицо имеет опыт и соответствующие знания. Компетентностный подход предполагает формирование у обучающихся целого ряда компетенций, результатом освоения которых должна стать самостоятельная эффективная профессиональная деятельность. Процесс обучения направлен на создание условий, позволяющих формировать у обучающихся опыт самостоятельного решения целого спектра проблем образования: коммуникативных, познавательных, нравственных, организационных и прочих. Особое значение приобретают метапредметные знания и умения, проходящие сквозной линией через многие дисциплины курса. Компетентностный подход предполагает подготовку специалиста, способного творчески мыслить, быть эффективным в ситуациях неопределенности.

Деятельностный подход можно рассматривать как вектор современной высшей школы, направленный на вариативность содержания, усиление связи теории с практикой, создание условий для раскрытия личностного потенциала студента, удовлетворение его духовных, умственных и физических потребностей в процессе включения обучающегося в различные виды деятельности. Студент является активным субъектом учебной деятельности, осваивая в процессе обучения различные профессиональные роли и функции: учитель, воспитатель, проектировщик образовательного пространства, фасилитатор развивающей учебной деятельности.

Целью нашей работы стало создание дисциплины «Дискуссионная площадка по современным проблемам педагогики и психологии начального образования – учебное событие» с учетом требований к учебному событию, с опорой на компетентностный и деятельностные подходы. Дисциплина «Дискуссионная площадка по современным проблемам педагогики и психологии начального образования – учебное событие» раскрывает некоторые актуальные проблемы психологии и педагогики. Данная дисциплина направлена на интеграцию знаний обучающихся по психологии, педагогики и частным методикам преподавания в начальной школе. Прохождение данной дис-

циплины позволит студентам приобрести опыт системного мышления.

Основное внимание в процессе прохождения дисциплины уделено практическим занятиям и самостоятельной работе студентов. В ходе освоения дисциплины применяются активные методы обучения: деловые игры, дискуссии, что позволяет отработать профессиональные практические умения и навыки, интегрировать полученные знания из других дисциплин. Значительное время выделено на самостоятельную работу студентов. Для повышения эффективности самостоятельной работы основные материалы дисциплины представлены в электронном образовательном курсе в образовательной среде университета. Использование активных форм обучения позволяет значительно повысить активность, личную включенность каждого студента в процесс прохождения дисциплины.

Изучение дисциплины «Дискуссионная площадка по современным проблемам педагогики и психологии начального образования – учебное событие» реализуется после прохождения базовых дисциплин психолого-педагогического направления. Дисциплина подготавливает студентов к прохождению практики «Производственная практика (педагогическая, проектная)». Дисциплина изучается на последнем курсе. Она призвана аккумулировать знания, полученные в ходе обучения ранее.

Основной целью дисциплины является формирование у студентов комплексного интегрированного понимания современных проблем психолого-педагогического знания и возможностей в решении проблем.

Цели дисциплины конкретизируются в ряде задач:

- развивать умение выделять современные проблемы психологии и педагогики в системе обучения и воспитания младших школьников;

- развивать активную творческую позицию в решении современных психолого-педагогических проблем начальной школы;

- научить применять интегрированные знания различных психолого-педагогических дисциплин при разрешении проблем, возникающих в ходе обучения и воспитания младших школьников;

- формировать практические навыки дискуссионного общения.

В ходе освоения дисциплины у студентов формируются компетенции, обеспечивающие возможность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач; умение осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде; способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития.

Выбор содержания дисциплины продиктован актуальностью материала. На современном этапе развития образования можно выделить большое количество проблем, требующих решения. В силу определенной временной ограниченности дисциплины мы остановились на двух. Это развитие эмоционального интеллекта и проблема обучения детей группы риска.

Содержание дисциплины раскрывается в следующих темах.

Раздел 1. Развитие эмоционального интеллекта младших школьников
Тема 1.1. Понятие эмоционального интеллекта
Тема 1.2. Особенности эмоционально-волевого развития младших школьников. Детские страхи и их профилактика.
Тема 1.3. Использование сказкотерапии в развитии эмоционального интеллекта младших школьников
Тема 1.4. Деловая игра: «Разработка плана работы по развитию эмоционального интеллекта младших школьников в урочной и внеурочной деятельности»
Раздел 2. Младшие школьники группы риска
Тема 2.1. Психолого-педагогическая характеристика младших школьников группы риска.
Дискуссия: «Работа учителя начальной школы с детьми группы риска»

Рассмотрим базовые содержательные единицы, изучаемые в дисциплине.

Первый раздел «Развитие эмоционального интеллекта младших школьников» требует знание следующего содержания различных дисциплин:

- эмоции (сущность, виды, онтогенез развития);

- воля (сущность, онтогенез развития);

- эмоциональный интеллект (сущность понятия, подходы, онтогенез развития);

- возможность и специфика формирования эмоционального интеллекта у младших школьников;

- педагогические технологии;
- методики преподавания различных дисциплин в начальной школе;

- специфика организации учебной и внеучебной деятельности младших школьников;

- программы внеклассной работы в начальной школе.

Второй раздел «Младшие школьники группы риска» предполагает наличие следующего знания:

- возрастные особенности детей младшего школьного возраста, возрастная норма;
- диагностика психических процессов, свойств и состояний младших школьников;
- общая дидактика, теории воспитания;
- особенности детей с ЗПР, педагогическая запущенность, демонстративные, медлительные, тревожные дети, дети с СДВГ, дети с аутизмом и др.;
- особенности работы с детьми групп риска.

Процесс работы имеет этапность. Первоначально студенты получают перечень теоретических вопросов, список научных источников, которые прорабатываются в процессе самостоятельной работы над разделом дисциплины. В связи с большим объемом теоретического материала мы считаем целесообразным объединить студентов в группы. Группа распределяет темы изучения между участниками. Результатом данного этапа должны стать презентационные, раздаточные материалы, в которых нашли отражение основные содержательные единицы тем раздела. Далее следует очное занятие в виде лекции-консультации, в процессе которого каждая группа представляет свои материалы. Лектор может выступать в качестве эксперта. Происходит обсуждение, анализ результатов, находятся противоречия, выстраивается общая структура знания по разделу курса. Проработка материалов осуществляется и через практическую работу. При изучении первого раздела дисциплины студенты, проработав материал по сказкотерапии, возможности его использования в практике работы учителя начальных классов, составляют различные виды психотерапевтических сказок: медитативные, дидактические, коррекционные. Полученные материалы интегрируются с методическими знаниями, включаются в учебную и внеклассную работу учителя начальных классов. Студенты готовят и проводят микропреподавание, внеклассные мероприятия с использованием составленных сказок. Данная работа имеет дальнейшую аналитическую оценку участников занятия. Второй раздел курса предполагает практические задания в виде анализа возможностей адаптации образовательной среды под особенности детей группы риска [6]. Разрабатываются аспекты уроков по различным предметам начальной школы с учетом индивидуальных особенностей детей групп риска с дальнейшим микро-преподаванием и анализом.

Существенная часть работы предполагает использование активных методов об-

учения, которые позволяют студенту проявить свою индивидуальность, расширить границы смыслов получаемых знаний. Кульминацией изучения разделов является деловая игра и дискуссия.

Групповая дискуссия предполагает диалогическое общение участников, в ходе которого формируется практический опыт совместного обсуждения и разрешения теоретических и практических проблем. Студенты выражают свои мысли в докладах и выступлениях, отстаивают свою точку зрения, аргументированно возражают, опровергают ошибочную позицию одноклассников. Это ведет к высокой интеллектуальной и личностной активности, включенности в процесс учебного познания.

Деловая игра – форма и метод обучения, в которой моделируются предметный и социальный аспекты содержания профессиональной деятельности. Она позволяет отрабатывать профессиональные умения и навыки. В деловой игре разворачивается квазипрофессиональная деятельность обучающихся на имитационно-игровой модели, отражающей содержание, технологии и динамику профессиональной деятельности.

В контексте рассматриваемой дисциплины деловая игра является педагогическим средством и активной формой обучения, которая интенсифицирует учебную деятельность, моделируя психологические, педагогические ситуации. Дает возможность анализировать условия и вырабатывать оптимальные действия в дальнейшем. Деловая игра позволяет развивать профессиональное творческое мышление, позволяет развивать способность анализировать специфические ситуации и решать новые для себя профессиональные задачи.

Использование различных форм обучения обеспечивает многослойность образовательного события.

Заключение

Опираясь на компетентностный и деятельностный подходы, учитывая содержание дифиниции «образовательное событие», была разработана учебная дисциплина высшей школы «Дискуссионная площадка по современным проблемам педагогики и психологии начального образования – учебное событие» в практике подготовки учителей начальной школы.

Требования компетентностного и деятельностного подхода нашли отражение в выборе и построении содержания дисциплины, активных формах обучения.

Учтены требования образовательного события. Дисциплина предполагает значительную активность и самостоятельность

студентов, использование диалогических и полилогических форм взаимодействия участников, включение разнообразных видов деятельности, возможность проявления творческого подхода участников, обеспечивает возможность широкого переноса полученных знаний и умений.

Очевидно, что внедрение и использование данной дисциплины в практике преподавания позволит выявить критические точки, в реализации дисциплины. Это позволит более глубоко осмыслить происходящее и скорректировать возможные недочеты.

Список литературы

1. Слободчиков В.И. Событийная образовательная общность – источник развития и субъект образования // Событийность в образовании и педагогической деятельности. 2010. № 1 (43). С. 5–14.
2. Попов А.А. Событие как единица образовательного проектирования // Событийность в образовании и педагогической деятельности. 2010. № 1 (43). С. 48–51.
3. Фролова С.В. Проектирование события индивидуального образовательного маршрута внеучебной деятельности студента // Молодой ученый. 2014. № 4. С. 1120–1122.
4. Фролова С.В., Илалтдинова Е.Ю. Концепция образовательного события в практико-ориентированной парадигме высшего образования // Вестник Мининского университета. 2017. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/320/321> (дата обращения: 20.11.2018).
5. Крылова Н.Б. Условия проявления событийности образования // Событийность в образовании и педагогической деятельности. 2010. № 1 (43). С. 136–145.
6. Иванова Н.В., Минаева Е.В. Представление учителей начальных классов о сущности понятия «Образовательная среда» // European Social Science Journal. 2016. № 12–1. С. 260–265.

УДК 371.314.1:378

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ РОДИТЕЛЕЙ

¹Самохвалова С.Ю., ²Тодарчук О.А., ¹Рыжова О.С.

¹ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: l2a5n0a464@bk.ru, olgaryzhov@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
Ростов-на-Дону, e-mail: 3660mk@mail.ru

Создание в РФ сети университетов для родителей является своевременным откликом государства на запросы общества и потребности родителей, нуждающихся в системном просветительском сопровождении. Современное содержание работы сети университетов для родителей, создаваемых при образовательных учреждениях РФ, основывается на методологии компетентностного, деятельностного, знаниевого, информационного и других общепринятых подходов. Тем не менее дальнейшее развитие образовательных услуг, оказываемых родительскими университетами, требует их выведения на уровень системной просветительской работы, требующей поиска дополнительных методологических подходов. Синергетика считается ядром постнеклассической научной картины мира и может стать значимым дополнением к методологическому фундаменту, на котором выстраивается содержание просветительской работы с родителями. В данной статье приводятся результаты применения синергетического подхода, которые фиксируются в разработке обогащенного тезауруса, в обновлении содержания, в апробации инновационных методов и форм просвещения родителей. Введение синергетического подхода к организации работы с родителями отвечает требованиям ФГОС о диверсификации и междисциплинарности образовательных программ. Обновленное содержание программ позволяет научить родителей стратегически видеть будущее, работает с модусом сознания молодых родителей, освобождает их от узкого эгоцентрического, материалистического мировоззрения, воспитывает глобальную ответственность, при которой каждый член общества ведет себя так, как если бы он – в меру своих возможностей – был ответственен за целое общество.

Ключевые слова: просвещение, родители, компетентный подход, содержание, метод, методология, синергетика, образование, образовательные услуги, педагогический процесс, модели воспитания

METHODOLOGICAL BASES OF ACTIVITY OF MODERN UNIVERSITY FOR PARENTS

¹Samokhvalova S.Yu., ²Todarchuk O.A., ¹Ryzhova O.S.

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, the Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: l2a5n0a464@bk.ru, olgaryzhov@yandex.ru;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: 3660mk@mail.ru

The creation of a network of Universities in Russia for parents is a timely response of the state to the needs of society and the needs of parents in need of systematic educational support. The current contents of the work of the universities network for parents, created by the educational institutions of the Russian Federation, is based on the methodology of competence-based, activity-based, knowledge, information and other conventional approaches. Nevertheless, the further development of educational services provided by parent universities requires their introduction to the level of systematic educational work, which requires the search for additional methodological approaches. Synergetics is considered to be the core of the post-non-classical scientific picture of the world and can become a significant addition to the methodological Foundation on which the content of educational work with parents is built. This article presents the results of the synergetic approach, which are recorded in the development of an enriched thesaurus, updating the content, testing innovative methods and forms of education of parents. The introduction of a synergetic approach to the organization of work with parents meets the requirements of the GEF on the diversification and interdisciplinary educational programs. The updated content of the programs allows to teach parents to see the future strategically, works with the modus of consciousness of young parents, frees them from a narrow egocentric, materialistic worldview, brings up a global responsibility in which every member of society behaves as if he was responsible for the whole society to the best of his abilities.

Keywords: education, parents, content approach, content, method, methodology, synergetics, education, educational services, pedagogical process, models of upbringing

Создание в РФ сети университетов для родителей является своевременным откликом государства на запросы общества, в лице Международной общественной организации «Родительская забота» и на потребности родителей, нуждающихся в системном просветительском сопровождении.

В Национальном проекте развития образования до 2024 г., а также в одном из его подпроектов, который так и называется «Современные родители», запланировано создание единой информационной платформы для родителей, организация психолого-педагогических консультационных

центров, формирование системы переподготовки и курсов повышения квалификации для родителей, расширение спектра образовательных услуг и диверсификация образовательных программ для родителей, а также построение фундаментальной просветительской работы с родителями на базе образовательных учреждений.

В контексте перечисленных задач системно организованное педагогическое просвещение родителей должно базироваться не только на фундаменте гуманистического, деятельностного, личностно-ориентированного, знаниевого, культурологического рефлексивного, вариативного, информационного, многоцелевого, диалогового и компетентностного подходов [1, с. 143], но и на современной естественнонаучной эволюционной парадигме. Безусловно, перечисленные подходы придают просветительской деятельности продуктивный, практико-ориентированный, поликультурный и многоэтнический (multiethnic education) характер [2, с. 218], однако очевидно и то, что современные родители нуждаются в холистическом видении мира, в формировании научного мировоззрения и в развитии системно-креативного мышления. Именно эти новые качества позволят им более эффективно исполнять свой родительский долг и, главное, обеспечат уверенность в завтрашнем дне.

Как показывают исследования, современные родители, испытывающие давление постиндустриальной эпохи, обремененные высоким уровнем социально-психологической тревожности, усталости и недовольства жизнью, переживают дезориентацию в сфере ценностей и нравственной жизни, ориентируются преимущественно на себя, на жизнепрживание здесь и сейчас, характеризуются слабым развитием правового сознания, «клиповым» мышлением и поверхностной педагогической и методологической грамотностью. Становится ясным, что для дальнейшего совершенствования родительского всеобуча и выведения его на уровень просвещения, определяемого в словаре русского языка С.И. Ожегова, как свет озарения, как создание нового образа мира и нового типа мышления, применяемых методологических подходов в условиях стремительно меняющегося социума явно недостаточно.

Цель данной исследовательской работы состоит в том, чтобы, опираясь на принцип комплементарности, подобрать и разработать для данной проблемы такой методологический подход, который может запустить у родителей процессы

самоорганизации и позволит дополнить повсеместно применяемые предметно-центрированные консультации со специалистами (психологом, медиком, юристом и т.д.), междисциплинарными, интегрированными событиями. Реализация данной цели отвечает требованиям ФГОС о диверсификации и междисциплинарности образовательных программ, а главное, позволяет воссоздать и развить исторический опыт организации всеобуча в нашей стране.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили: современная дидактика и методология синергетики.

Современная дидактика рассматривает педагогический процесс как работу с человеком, который, как отмечает О.А. Заплата и Д.М. Азаматов [3], понимается «в исторической ретроспективе жизнедеятельности и интегрируется в сложную систему социальных отношений и процессов, которые представляют собой довольно устойчивые связи, образовавшиеся в процессе взаимодействия в условиях общества» [3, с. 16].

Методология синергетики была избрана, прежде всего, как область научных исследований, целью которых является выявление общих закономерностей. Создателем синергетического направления является профессор, директор института теоретической физики и синергетики Г. Хакен [4].

Опираясь на исследования И. Пригожина, Е.В. Князевой, В.Г. Буданова, С. Степина, А.П. Руденко, В.В. Серикова, С.В. Кульневича, М.А. Петренко, Б.А. Мукушева и мн. др. отечественных и зарубежных ученых, стало ясно, что именно синергетика обеспечивает изучение данной проблемы на высоком уровне «согласованного развития системы «человек – общество – природа», на уровне «интеграции философии, науки, искусства и практической деятельности человека» [5, с. 105].

В свою очередь современная дидактика в контексте синергетической парадигмы позволила установить новую соподчиненность между неравнозначными по отношению друг к другу компонентами педагогического процесса [5, с. 107].

Основным методом исследования явилась экстраполяция разработанных принципов синергетики в содержание просветительской деятельности университетов для родителей (принципов фундаментальности, коэволюционного развития, открытости и развития системы, самоорганизации, нелинейного, системно-креативного стиля мышления, принципы неравновесности, нелинейности, неустойчивости; принципы трехсторонней активности, событийности и наблюдаемости). Данный метод позволил обновить, дополнить и обогатить не только содержание просветительской работы с родителями, но и преобразовать ее понятийный аппарат, содержание, методы, средства, способы управления и формы организации.

Результаты исследования и их обсуждение

Главным результатом исследования необходимо считать разработку структуры содержания просветительской работы (принцип развития системы предполагает, что радикальное реформирование системы

начинается с обновления ее структуры). Обновленная структура содержания представляет собой метапрограмму взаимодействия образовательных программ, в рамках изучения которых необходимо ставить на обсуждение формулировки определений основных понятий, рассматривать их в контексте синергетического знания, переносить сформулированные сообща определения на другие области знания, выводить универсальные закономерности, конструировать модели развития. Разработанная структура направлена: на постижение родителями современной холистической картины мира и универсальных законов, по которым живет и развивается мир; на постижение основ конструирования будущего, на освоение практики коэволюционного развития и гармоничного взаимодействия; на освоение основ самоорганизации, под которой «сегодня во многом подразумевается наука, дающая человечеству шанс на выживание» [6, с. 4–7].

Не менее значимыми результатами исследования является разработка тезауруса просветительской деятельности. «Родитель» предстает в данном контексте активным конструктором себя и своего окружения, «индивидом, познавшим основное противоречие эпохи, живущим внутри этого противоречия и старающимся своими действиями разрешить его» [7, с. 441]. Обладая синергетическим стилем мышления, он наделен прогностическим даром и способностью к опережающим действиям.

«Ребенок» в контексте синергетики, – живая самоорганизующаяся биосоциодуховная система, в которой единство духовного и материального, идеального и реального, внутреннего и внешнего дополняют друг друга и порождают энергию со-творчества. Поэтому с ребенком надо не бороться, а надо находиться с ним в сотрудничестве. Ребенок, как любой другой человек, играет решающую роль в оказании непосредственного влияния на ход эволюции, поскольку, будучи встроенным в сложные системы, человек может выводить сложные системы на их предпочтительные будущие состояния. Представление о ребенке и характере взаимоотношений с ним, не могут быть оторваны от реальной картины мира, которая сложилась у родителя и в которую вписан и ребенок, и он сам. Вместе с тем, у большинства родителей мировоззренческая картина мира и представление о самом себе в этом мире не осознана и часто представляет собой отжившие стереотипы поведения, далекие от фундаментальной научной картины мира.

«Учреждение высшего профессионального образования» в рамках синергетики

является аттрактором, который преддетерминирует настоящее, детерминирует ход развития родительской общественности и тем самым исторических событий. В вузе присутствуют будущие состояния всех субъектов образования и общества.

«Педагог-просветитель» в «университете для родителей» является носителем и проводником современной научной картины мира. Он мыслит нелинейно, направляет всю свою работу с родителями на обогащение смыслов их бытия, смыслов их общения с детьми. Педагог-просветитель понимает, что смыслы – это то, из чего с помощью языка создаются тексты; что понимание рождается через образы, что природа смысла может быть ухвачена только в бытии, в динамике. Поэтому педагог-просветитель начинает свою работу с родителями с актуализации их жизненного опыта взаимодействия с детьми, а заканчивает тем, что родители описывают картины своих будущих отношений с детьми и родными. Педагог-просветитель учитывает логику внутреннего развития каждого родителя и не противоречит их внутреннему содержанию, стремится показать родителям множественность вариантов решения любого вопроса, в представлении которых отталкивается не от субъективного опыта и собственного видения, а от научной картины мира и от законов мироздания.

«Студенты» как участники просветительской работы, разворачиваемой в университете, также становятся равноправными партнерами и проповедниками современной научной парадигмы. «Наиболее действенной и живой формой, – по словам О.А. Тодарчук, – становится здесь студенческое волонтерское движение» [8, с. 34].

«Процедура обучения» в контексте синергетики – это не передача знаний, а нелинейная ситуация открытого диалога. Реализуемое здесь пробуждающее интерактивное обучение создает условия для порождения личностных знаний, для продуктивного творчества, для управления резонансным воздействием, подталкивающим систему на один из собственных благоприятных для человека путей развития в нужное время и в нужном месте, для содидарного взаимообучения, согласованного единым темпом.

Основная цель просветительской работы с родителями в контексте синергетического подхода – помочь родителям научиться жить в гармонии и коэволюционном развитии с окружающим миром, понимать его, системно продвигаться в информационном поле, обрести коллективное, системно-креативное, «нелинейное мышление, допускающее множественность путей раз-

вития» [9, с. 3–12] и раскрывающее педагогическое творчество.

«Методы и средства» просветительской работы в контексте синергетики направлены на обострение стагнации протекающего процесса, на пробуждение внутренних сил и возможностей родителей, на актуализацию их опыта и изучение положительного опыта других родителей.

«Активная среда», в которой организуется просветительская работа, не предусматривает плотный график занятий, похожий на погружение в тему, потому что ни сила, ни интенсивность занятий не влияют на эффективность занятий. Для создания резонансного воздействия и правильной пространственной организации влияния, работа с родителями проводится не только в вузе, а и в пространстве детсадов, школ, музеев, общественных организаций, где обостряются противоречия, вспоминаются нерешенные вопросы, возникает неравновесное, неустойчивое незамкнутое состояние, которое и приводит к саморазвитию родителей.

«Формы работы с родителями» представляют собой кооперативную совместную творческую деятельность и характеризуются спонтанностью, инициацией со стороны родителей, примерной запланированностью, поскольку именно в спонтанных процессах запускаются механизмы самоорганизации у человека.

«Управление просветительской работой» в активной среде университета для родителей разделены между всеми субъектами образования. Управляющий субъект делокализован и неотделим от участников образовательного процесса.

Основным результатом исследования необходимо считать разработку содержания просветительской работы. В контексте синергетических принципов оно базируется на современной научной парадигме, становится открытым, постоянно обновляющимся, допускающим широкое варьирование учебного материала, его конкретизацию и свободный выбор. В соответствии с принципом целостности родители учатся видеть проблему и избирать вариант ее решения, исходя из целостного видения ситуации, из взаимосвязи и единства различных ее аспектов, направленности ее собственного развития, вариативности воздействия на нее. Исходя из принципа «человекомерности» эволюции, устанавливающего, что в процессе самоорганизации познание человеком внешней реальности все время сопрягается с познанием реальности внутренней, обогащенное содержание поможет родителю увидеть и осознать, какова его природа,

в какой среде он рос и какими факторами обусловлено его нынешнее поведение. Ему предстоит принять себя, свои чувства, свой внешний облик и тело.

Кроме того, содержание становится направленным на осмысление знания, на его присвоение, переживание, принятие или отторжение, на выработку убеждений и установок поведения, на порождение собственных суждений (принцип конструирования будущего). Содержание показывает родителям, что стратегически видеть будущее означает:

а) перестать гнаться за удовлетворением своих возрастающих материальных потребностей;

б) освободиться от эгоцентрического, материалистического модуса сознания, порождающего угрожающие человечеству экологические и техногенные катастрофы;

в) стремиться к достижению состояния душевного равновесия, получать возможности для максимальной самореализации, раскрытия своего таланта;

г) научиться конструировать будущее на основе внутренней этики и глобальной собственной ответственности, исходя из собственных целей, исходя из ценности того, что созданные конструкции окажутся полезными и в дальнейшем, с пониманием глубочайшей собственной ответственности за грядущий результат, за становящееся целое;

д) признать ответственность, предполагающую, что каждый член общества ведет себя так, как если бы он – в меру своих возможностей – был ответственен за целое. Ответственный родитель выступает как творец и критик в одном лице.

Только на основе личной ответственности может строиться устойчивое самоорганизующееся целое в микросоциуме и в глобальном мире. Конструирование будущего означает, что человек как субъект познания и деятельности берет на себя весь груз ответственности за получаемый результат. Предполагается также, что обновленное содержание научит родителей распознавать и отказываться от утопических проектов в отношении себя и своих детей. Содержание должно составить у родителя представление о том, что конструировать свое будущее необходимо в рамках этических принципов. Более того, содержание призвано тренировать у родителей холистический, а не аналитический, взгляд на мир. Под синергетическом стилем мышления следует понимать мыслительный процесс, ориентированный на выявление всеобщих связей и отношений всего сущего, осознание мироустройства, основанного на чередовании устойчивости и неустойчивости, на осмыс-

ление многомерности и неоднозначности параметров окружающей нас действительности. Обогащенное содержание просветительской работы переведет родителя на позиции конструктивизма в конструктах сознания и конструируемой действительности. Конструктивизм в познании и практике – это такой подход, в рамках которого считается, что человек в своих процессах восприятия, мышления и деятельности не столько отражает окружающий мир, сколько активно творит, конструирует его.

Очевидно, что новое содержание покажет родителям позитивную роль хаоса и нестабильности в воспитании детей. Оно будет помогать родителям осваивать процесс самоорганизации, который происходит только в результате взаимодействия случайности и необходимости и всегда связан с переходом от неустойчивости к устойчивости. Содержание будет событийным по своему характеру, так как важнейшие «узловые» моменты развития того или иного события, в сущности, представляют собой бифуркации, в результате которых и появляется «новое» – жизненно необходимое и непредсказуемое, затрагивающее и преобразующее. События как бы программируют новые условия совершенствования субъекта деятельности в виде возможных путей развития спектра относительно устойчивых структур – аттракторов эволюции. В прогнозируемые события целесообразно вовлекать и самих детей, и студентов, осуществляющих социокультурные практики. Предполагаемая здесь роль студентов позволит укрепить позицию высшего образования в статусе социального института, выполняющего свою латентную функцию по сохранению устойчивого развития и консолидации общества. Обновленное содержание заложит у родителей представление о том, что себе и ребенку, членам семьи, как синергетически организованным системам, нельзя навязывать то, что вступает в противоречие с внутренним их содержанием и логикой развертывания их внутренних процессов. Содержание будет демонстрировать при-

меры коэволюции систем с другими системами, обнаруживающими действие универсальных законов и проводить обучение как процедуру пробуждения внутренних сил и возможностей обучающихся родителей, как кооперативную совместную творческую деятельность обучающегося и преподавателя, в результате которой изменяются они оба.

Выводы

Таким образом, исследование показало, что синергетический подход к формированию просветительской работы в рамках родительских университетов дополняет общепринятые методологические подходы, обогащает содержание просветительской деятельности университета, преобразует формы работы с родителями и дополняет методы обучения и развития родительского потенциала.

Список литературы

1. Ефремова Н.Ф. Компетенции в образовании: формирование и оценивание. М.: Национальное образование, 2015. 416 с.
2. Рыжова О.С. Роль поликультурного образования в социальном воспитании молодежи // Социально-педагогические проблемы детей и молодежи: сборник научных трудов (с международным участием). Ростов-н/Д., 2014. 316 с.
3. Заплата О.А., Азаматов Д.М. Осмысление сущности человека как объекта философского и биосоциального знания в контексте интегративной антропологии // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15415> (дата обращения: 22.11.2018).
4. Хакен, Герман // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%BD_%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD (дата обращения: 22.11.2018).
5. Мукушев Б.А. Синергетика в системе образования // Образование и наука. 2008. № 3 (51). С. 105–122.
6. Токарев Д.И. Синергетика о природе и человеке // Экология и жизнь. 2007. № 12. С. 4–8.
7. Смирнов И.П. Дидактика: развитие или застой // Образование и наука. 2016. № 1 (130). С. 133–144.
8. Тодарчук О.А., Малова А.С. Особенности преподавания дисциплин духовно-нравственной направленности в техническом вузе // Вестник непрерывного образования. Научно-образовательный журнал. 2017. № 2. С. 32–38.
9. Абасов З. Инновация в образовании и синергетика // Alma mater. 2007. № 4. С. 3–12.

УДК 378:94(470.41-25)

**РЕОРГАНИЗАЦИЯ ГУМАНИТАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
В КАЗАНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ В 1919–1922 ГОДЫ****Садыков Ш.Ф.***ГБУ «Институт истории им. Ш. Марджани Академии наук Республики Татарстан»,
Казань, e-mail: mergen777@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы организации и функционирования факультета общественных наук в Казанском университете (1919–1922 гг.). Созданный на базе юридического и историко-филологического факультетов факультет общественных наук концентрировал в себе все гуманитарное образование в Казанском университете. В течение трех лет на факультете были организованы новые отделения и научно-исследовательские институты. С открытием нового факультета в учебный план привносятся предметы обществоведческого цикла. Гуманитарное образование становится важным инструментом идеологического воспитания молодежи, основанного на принципах марксизма. На основе архивных данных выявлены все преобразования и внутренние решения Совета факультета общественных наук, касающиеся директив Центра о реформе высшей школы в данный период. Кадры нового факультета составляли в основном преподаватели прежних факультетов, в преподавании новых предметов отдавалось предпочтение членам РКП(б). «Старая профессура» относилась отрицательно к реорганизации высшей школы, считая создание факультета общественных наук излишней политизацией гуманитарного и правового образования. Дальнейшая ликвидация факультета общественных наук, заменявшего собой все гуманитарные факультеты, положила начало длительному перерыву в преподавании и систематическом изучении гуманитарных наук в Казанском университете.

Ключевые слова: факультет общественных наук, учебные планы, профессора, научный институт, Казанский университет

**REORGANIZATION OF HUMANITARIAN EDUCATION IN THE KAZAN
UNIVERSITY IN 1919–1922 YEARS****Sadykov S.F.***Sh. Marjani Institute of History under Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, e-mail: mergen777@mail.ru*

The article deals with the organization and functioning of the faculty of social sciences at the Kazan University (1919-1922). The faculty of social sciences, created on the basis of the law and historical-philological faculties, concentrated all humanitarian education in Kazan University. Within three years at faculty were organized new offices and research institutes. With the opening of the new faculty in the curriculum introduced subjects of social science cycle. Humanitarian education becomes an important tool of ideological education of young people based on the principles of Marxism. On the basis of archival data revealed all the changes and internal decisions of the Council of the faculty of social Sciences, concerning the directives of the Center on the reform of higher education in this period. The staff of the new faculty consisted mainly of teachers of previous faculties, teaching new subjects was given preference to members of the communist party. The «old professorship» was negatively related to the reorganization of the higher school, considering the creation of the Faculty of Social Sciences as excessive politicization of humanitarian and legal education. Further liquidation of the faculty of social Sciences, which replaced all the Humanities faculties, marked the beginning of a long break in the teaching and systematic study of humanities at Kazan University.

Keywords: faculty of social sciences, educational plans, professors, scientific institute, Kazan University

Декреты Советской власти внесли большие изменения, как в структуру, так и в учебный процесс высших учебных заведений. Распространение новых идей советской власти, ознакомление с переменами в общественно-политическом строе России и подготовка кадров для социалистического строительства стали важными вопросами политики большевиков. С этой целью во многих университетах вместо юридических факультетов, исторических отделений историко-филологических факультетов были созданы факультеты общественных наук (ФОН), Казанский университет (КУ) не стал исключением.

Цель исследования: изучение процессов реорганизации гуманитарного образования в Казанском университете в 1919–1922 гг.

Материалы и методы исследования

Исследование основывалось на материалах Совета факультета, Совета Университета и Казанского губернского отдела по просвещению. В ходе исследования автором использовались методы научного наблюдения, теоретического исследования и изучение исторического опыта.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

В январе 1919 г. Казанским губернским отделом по просвещению (ГУБНО) в КУ направляются для обсуждения предложения (состоит из 12 пунктов), касающиеся вопросов реформы высших учебных заведений. Одними из пунктов были вопросы создания ФОН, методология обществоведения и пересмотр учебных планов юридического

и историко-филологического факультетов. Прошедший 27 января 1919 г. Совет юридического факультета КУ в целом поддержал идею создания ФОНа, однако в части структуры факультета требовал более обстоятельного рассмотрения. Что же касается вопроса о методологии обществоведения, то, по мнению большинства, применение в данной области одного только материалистического метода является некорректным и необходимо предоставить ученому исследователю свободу пользования и другими научными методами. Преобразование же учебных планов предполагалось провести с новыми требованиями государства и народного хозяйства и теми переменами, которые произошли в политической организации страны [1].

С 15 января 1919 г., согласно постановлению Наркомпроса РСФСР выдача кредитов, предназначенных на содержание юридических факультетов, приостанавливается, в КУ ввиду запоздания опубликования данного постановления закрытие юридического факультета было отсрочено до 15 февраля. Закрытие факультета вызвало много вопросов преподавательского состава о судьбе факультета. С целью выяснения у комиссара вуза г. Казани вопроса дальнейшего преподавания на факультете, на заседании Совета юридического факультета (15.02.1919 г.) избираются представители факультета в лице Н.Н. Кравченко (и.о. декана) и А.М. Рахлиной (представитель студенческого состава факультета). Однако возложенное утром поручение на вышеуказанных лиц ввиду появления новых обстоятельств на заседании Совета Университета (прошло в 13.00 часов) было отменено. На вечернем факультетском заседании исполняющий дела декана Н.Н. Кравченко сделал заявление, что согласно решению Совета Университета: «Причислить временно, до разрешения вопроса Правительством весь преподавательский, а равно и учащийся персонал юридического факультета к историко-филологическому факультету, открыв при последнем временное отделение общественных наук». В ожидании дальнейших разъяснений было принято продолжать чтение лекций. На этом же заседании исполняющий дела факультета профессор Н.Н. Кравченко и секретарь факультета преподаватель А.В. Шишков заявили о сложении своих полномочий. Таким образом, с 15 февраля 1919 г. ввиду закрытия юридического факультета, постановлением Совета Университета было открыто временное отделение общественных наук. На тот момент на факультете числилось 593 человека, из них 47 получили выпускные сви-

детельства и 48 закончили окончательные испытания [2].

С 28 апреля 1919 г. юридический факультет был преобразован в ФОН. Весь штат и имущество юридического факультета перешло в ведение ФОН. Выборы декана состоялись в этот же день, в результате двух туров выбора деканом был избран Н.Н. Кравченко (получил 10 избирательных шаров и 1 неизбирательный) [1].

Начиная с апреля 1919 г. для формирования нового факультета Советом КУ была избрана специальная комиссия, в состав которой вошли 13 лиц преподавательского состава (частью юрид., частью из историко-филол.) и 6 представителей студенчества – 3 (юрид.) и 3 (историко-филол.). В результате работы комиссия представила доклад: 1) намечавший первый личный преподавательский состав и 2) устанавливавший всю учебную схему на предстоящий ближайший летний триместр. В первый личный состав ФОН вошло 13 человек, а именно профессора: Г.Ф. Дормидонтов (скончался в 1919 г.), В.В. Ивановский, П.А. Никольский, В.К. Соколов, А.А. Овчинников, Н.Н. Кравченко, А.Д. Гуляев, Н.Н. Фирсов, Н.Д. Кологинский, А.С. Маковельский и Н.А. Васильев и преподаватели Н.К. Жузе и А.В. Шишков [2]. Реалии времени и идеология новой власти требовали введение новых предметов, так в 1919 г. в программу были включены история народного хозяйства, формы рабочего движения, основы социологии, логика и методология, ученье о развитии народного хозяйства, методология общественных наук, психология, история социалистических учений и введение в философию, а с 1920 г. к ним прибавилась такие предметы, как история научной мысли, история социализма, Карл Маркс и Марксизм, эволюция религиозного культа, эволюция государства и государственной власти и другие.

Подбор научных сил ФОН был обусловлен как подбором кадров для новых курсов, так и стремлением укомплектования их компетентными преподавателями в соответствующих научных областях. Выбор кандидата на новый предмет был связан с общим характером направления всей предшествующей научной деятельности того или другого лица. Например, преподавание «Истории и форм рабочего движения» было вверено проф. Н.Н. Фирсову, занимавшемуся этой областью, а преподавание «Социологии» – В.К. Соколову, проявившему в своих работах определенный уклон в сторону социологических проблем. Кроме того, преподавание отдельных предметов, таких как «Карл Марк и марксизм»

и «Экономическая политика», были отданы В.В. Адоратскому и Г.М. Эфросу, которые до этого не были преподавателями ни в университете, ни в другой высшей школе. Однако, учитывая, что оба были большевиками и сторонниками новой власти, а преподавание этих предметов являлось важным идеологическим орудием в воспитании молодого поколения, то выбор становится очевидным.

В соответствии с Положением о ФОН, все студенты факультета, независимо от специализации, в течение первых двух лет должны были изучать цикл общих предметов с целью получения ими общего социологического образования. Начиная с третьего года факультет делился на три отделения – экономическое, юридико-политическое, историческое [3]. В отличие от бывшего юридического факультета (12 кафедр), экономическое и юридико-политические отделения ФОН состояли из 19 кафедр и лишь 5 из них являлись схожими с бывшим юридическим факультетом. Историческое же отделение подразумевало 10 кафедр, среди которых были те, которые должны были осуществлять потребности мусульманского населения («История древнего Востока», «История мусульманского мира»). Кроме того, помимо предметов обозначенных Наркомпросом, факультетом общественных наук было принято решение о введении трех дополнительных предметов: «Международные отношения европейских держав в связи с началом мировой войны 1914 года», «История институтов мусульманского права» и «Уголовная социология» [1].

Наряду с делением на отделения была возможность при факультете организовывать и специальные научные институты, основной целью которых являлась организация в соответственной области научно-последовательной работы. В результате трех заседаний Комиссии (1–6 июля, 2 и 3–17 и 20 июля 1919 г.) было принято решение о создании при ФОН (не имея в виду историческое отделение) 8 научных институтов: 1) Научный институт (НИ) Социологии, 2) НИ исторического правоведения, 3) НИ государственного права, 4) НИ международного права и дипломатии, 5) НИ Криминалогии, 6) НИ Экономики, 7) НИ Статистики, 8) НИ философии [1].

Важным аспектом являлось: на какие курсы зачислять бывших студентов юридического факультета, прослушавших то или другое число семестров, но не слушавших предметов читавшихся на ФОН. Здесь Советом ФОН было решено следующее: «не состоявших доселе на ФОНе, прослушавших 2 семестра бывшего юридического

факультета зачислять – на 2 курс; 4, 6 или 8 семестров – на 3 курс». В результате в 1919/1920 учебном году в ФОН было принято 275 студентов: 1 курс – 193, 2 курс – 56, 3 курс – 15, 4 курс – 11 человек [1]. Кроме того, учитывая большой объем читаемых предметов на факультете общественных наук, студенты нередко обращались к руководству факультета о разделении предметов в учебном плане на обязательные (рекомендованные Наркомпросом) и необязательные (дополнительные). В данном вопросе факультет придерживался следующего ответа: все преподаваемые на ФОНе предметы, соответствующие 19 кафедрам, составляют группу основных предметов; все же остальные читаемые на факультете курсы являются предметами дополнительными (логика и методология, психология (общий курс), теория исторического процесса и другие, всего 15 предметов) [4].

ФОН в КУ был организован достаточно быстро и оперативно. Об этом свидетельствует и обращение в мае 1919 г. заведующего Отдела Высшей Школы Крымского Наркомпроса профессора А.И. Елистратова с просьбой оказать содействие доставкой материалов, необходимых Крымскому комиссариату по просвещению по вопросу об организации ФОН. Также о значимости и востребованности ФОНа указывает и факт обращения временного Бюро организации Рабочего факультета с просьбой высказаться о желательных, по мнению факультета, предметах, которые должны быть включены в программу Рабочего факультета. В данном вопросе Совет факультета предлагал включить в преподавание на Рабфаке следующие предметы: 1) обществоведение, 2) публичное право Советской республики, 3) наука о праве и государстве, 4) история народного хозяйства, 5) история социализма, 6) история русская и всеобщая – в популярном изложении [1].

Однако, несмотря на востребованность факультета, в октябре 1919 г. возникает вопрос о самом существовании ФОН в КУ. Об этом становится известно во время командировки в Москву декана ФОНа Н.Н. Кравченко и его беседы с заместителем Наркомпроса М.Н. Покровским, целью которой было выяснение вопросов, связанных с функционированием и организацией ФОН. Устные доклады о работе факультета, сделанные как М.Н. Покровскому, так и члену Коллегии Наркомпроса Д.А. Магеровскому были направлены на сохранение ФОН. 10 октября 1919 г. состоялось заседание Коллегии Наркомпроса. Результаты заседания были переданы Н.Н. Кравченко Д.А. Магеровским, в котором значилось за-

крытие в КУ трех факультетов: ФОН, филологического, физико-математического, а также Казанского Северо-Восточного археологического Института и бывших Казанских высших Женских курсов с использованием при этом, научно-преподавательских сил, а равно и учебно-вспомогательных учреждений этих трех факультетов и двух учебных заведений Казанским Институтом народного образования и экономическим факультетом Казанского Политехнического института [1].

Естественно, такой ход событий не устраивал руководство КУ, и в ноябре 1919 г. в Москву была направлена делегация КУ в лице профессоров Н.Н. Парфентьева, Н.Н. Кравченко и А.А. Юницкого. Делегация приложила все старания для пересмотра октябрьского решения и рассмотрения его заново на повестке ГУСа (28 ноября). Учитывая значимость данных факультетов в жизни Волжско-Камского края, корпорация университета закрытие указанных выше 3-х факультетов считало крайне нежелательным. Кроме того, различные общественные и профессиональные организации г. Казани (резолуция общего собрания студенчества 3-х факультетов КУ и высших женских курсов, протокол заседания Совета Рабочего факультета, телеграмма Казанского губисполкома М.Н. Покровскому) поддержали целостность университета. В результате заседания ГУСа была вынесена резолюция, в которой значилось, «что до конца текущего осеннего триместра решено оставить *status quo* всех учебных заведений г. Казани и для выяснения дальнейшей судьбы постановлено командировать в Казань члена ГУСа В.Т. Тер-Оганезова» [1].

Дальнейшее существование КУ в целом виделось в его самоуплотнении, а именно слиянии факультетов общественных наук и филологического в единый факультет гуманитарных наук с рядом специальных отделений. 9 февраля 1920 г. в Казанский ГУБНО приходит телеграмма за подписью В.Т. Тер-Оганезова, в которой указывается алгоритм реформы высшей школы г. Казани. Так для первых двух лет обучения была принята организация единого факультета, расходящегося по двум направлениям, преобладанием естественно исторических дисциплин в одном и гуманитарно-общественных в другом. В этот же день заведующим ГУБНО В.Ф. Каратеевым созывается совещание ректоров и деканов казанских вузов для обсуждения вопросов, связанных с проектируемой реформой высшей школы. Среди рассматриваемых вопросов были и касающиеся ФОН: 1) О проектируемом гуманитарно-общественном отделении Единого Основного

факультета; 2) О проектируемых научных институтах. Предлагалось разработать два института: 1) Научный институт физико-математических наук и 2) Научный институт гуманитарных наук. Непосредственно сам институт гуманитарных наук КУ разделялся на: I) Социально-политический факультет (с тремя отделениями – политико-правовым, социально-экономическим и социологическим); II) Исторический факультет (историко-культурное отделение, отделение языка и литературы, философское отделение, восточное отделение) [4].

Однако вопрос о слиянии трех факультетов остался нерешенным и факультеты продолжали работать в прежнем режиме. К концу 1920 г. число преподавателей возросло до 20 человек (14 профессоров и 6 преподавателей). Все же и этих кадров не было достаточно, чтобы охватить все предметы факультета, вакантными должностями оставались: «история техники», «рабочее право и социальная политика», «эволюция политической и юридической мысли», «экономия сельского хозяйства», «государственное и местное хозяйство». Помимо академической работы преподаватели ФОН участвуют и в просветительской деятельности, таких как чтение различных научно-популярных курсов и публичных лекций (лекции по различным отраслям обществоведения на летних курсах в Лаишево, Цивильске, Спасске и в других местах). Кроме того, многие профессора состоят в комиссиях различных учреждений помимо университета. Например, профессор В.К. Соколов – заведующий подотделом Общественно-экономических наук при научном отделе Танаркомпроса, профессор А.А. Овчинников – консультант статистического управления Татреспублики, профессор Б.Е. Будде – член комиссии при научном отделе Татнаркомпроса, преподаватель И.Ф. Победоносцев – заведующий переписью 1920 г. в Казани и т.д. [2].

Несмотря на активность преподавательской работы, жизнь профессоров, преподавателей и студенчества факультета была крайне тяжелой. Хроническое недоедание при 12-часовом рабочем дне, совершенно подрывающая человеческие силы обстановка на дому (помимо тесноты квартир, недостаток освещения и отопления), огромная нужда в обуви, одежде, белье и т.д. сильно отражались на моральном состоянии и пагубно влияли на физическое здоровье. Все это вынуждало Казанскую профессуру задумываться о дальнейшей перспективе работы. Так, некоторые преподаватели ФОН в поисках более выгодных условий работы покинули стены факультета: четверо ушли в Бакинский университет, двое – в Саратовский, один в Ташкент [4].

В целом в начале 1920-х гг. недостаток книг, различных учебных пособий, писчебумажных принадлежностей, убогость аудиторий оказывали отрицательное влияние на ход преподавательской работы.

Новые преобразования факультета общественных наук произошли в июне 1921 г., связанные с закрытием филологического факультета и образованием на ФОНе общественно-педагогического, экономического, этно-лингвистического отделения и научных институтов (1) лингвистический, 2) философии, психологии и педагогики, 3) литературы 4) истории). Студентам филологического факультета разрешалось перечисляться на ФОН с правом зачета сданных экзаменов на соответствующих циклах этих факультетов. Всего на филологическом факультете числилось 20 профессоров, 12 преподавателей (5 штатных, 5 временных, 2 ассистента) и 3 технических служащих. Число студентов в 1920–1921 учебном году было 344 человека [5]. Весь преподавательский состав был перечислен на ФОН. Главный комитет профтехнического образования Отдела ВУЗ Наркомпроса отказал в утверждении лишь профессорам: В.А. Керенскому, В.И. Несмелову, К.В. Харламповичу, им было запрещено преподавать, они были лишены даже продовольственного пайка [6]. В целом Казанская профессура отнеслась отрицательно к закрытию юридического (1919) и историко-филологического (1921) факультетов, справедливо полагая создание вместо них ФОН излишней политизацией гуманитарного и правового образования. Ее представители на лекциях позволяли себе не соглашаться с признанием правильности и необходимости для общества марксистского учения. Так, в июне 1921 г. один из профессоров-философов ФОНа говорил студентам: «Гегель был величайший шарлатан, его диалектический метод не научный, ничего общего с наукой не имеющий. Поэтому, читая «Капитал» Маркса, я думал: или я сумасшедший, или Маркс дурак» [7].

К середине 1921 г. ФОН получает свое окончательное устройство: было организовано 6 отделений и 12 НИИ для проведения научно-исследовательской работы в соответствующих областях. Однако небольшие изменения в расстановке факультетов произошли чуть позже, так в феврале 1922 г. ФОН представлением просил Совет Университета возбудить ходатайство перед Отделом Социально-экономического образования Главпрофобра об учреждении при ФОНе КУ двух кафедр: 1) Турецкой филологии 2) Финно-угорской филологии [8]. Кроме того, востоковедные кафедры предусматривались в положении о народном

образовании в Татарской Республике. Данная просьба со стороны Отдела Социально-экономического образования препятствий не встречала, и было принято утверждение кафедры Восточных языков с 2-мя штатными профессорами и 2-мя преподавателями (профессор Н.Ф. Катанов и преподаватели С.Е. Малов и Н.В. Никольский). В марте же 1922 г. предполагалось создать новую кафедру археологии и музееведения в ФОНе. Однако его создание, как и само существование ФОН в КУ постановлением Государственного ученого совета при Наркомпросе РСФСР (26 мая 1922 г.) было отменено [9]. В августе 1922 г. Высший институт народного образования, Восточная Академия и ФОН КУ были слиты в один вуз – Восточно-педагогический институт [10]. На долгие годы в КУ остались два факультета: физико-математический и медицинский.

Заключение

Таким образом, факультет общественных наук концентрировал в себе все гуманитарное образование Казанского университета. На основе нового факультета были созданы новые отделения и научно-исследовательские институты. Проводимые преобразования в ФОНе и вводимые новые учебные курсы в идеологическом и конкретном-содержательном отношении были направлены на воспитание «кадров научно подготовленных работников социалистического строительства». Ликвидация факультета общественных наук, заменявшего собой все гуманитарные факультеты, положила начало длительному перерыву в преподавании и систематическом изучении гуманитарных наук в Казанском университете.

Список литературы

1. Национальный архив Республики Татарстан (НАРТ). Ф.1337. Оп. 27, Д. 2А.
2. НАРТ. Ф.1337. Оп. 27, Д. 1.
3. Московский государственный университет им. М.Г. Ломоносова. Юридический факультет. Кафедра истории государства и права. URL: <http://www.law.msu.ru/structure/kaf/hist-gos-pr/history> (дата обращения: 21.11.2018).
4. НАРТ. Ф.1337. Оп. 27, Д. 4.
5. НАРТ. Ф.1337. Оп. 2, Д. 4.
6. Бажанов В.А. Почти из небытия: К биографии В.А. Керенского // Вече. Альманах русской философии и культуры. СПб., 2003. Вып. 14. С. 88–93.
7. Литвин А.И. Ученые Казанского университета во время смены политических режимов. В кн.: Власть и наука, ученые и власть. СПб.: Изд-во РХГИ, 2003. С. 124–132.
8. НАРТ. Ф.1337. Оп. 1, Д. 64.
9. Сидорова И.Б. Судьба гуманитарных музеев Казанского университета в 1920-е гг. // Вопросы музеелогии. 2012. № 1 (5). С. 113–123.
10. Фахрутдинов Н.Ф. Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2011. № 2 (8): в 3-х ч. Ч. II. С. 188–192.

УДК 101.8:61(091)

КОНЦЕПЦИЯ БОЛЕЗНИ В ИСТОРИИ МЕДИЦИНЫ И СОЦИАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: АНТРОПОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ И ЭПИСТЕМИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Песоцкая Е.Н., Инчина В.И.

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: dep-general@adm.mrsu.ru*

Настоящее исследование связано с исследованием перспективности объединения естественнонаучных и социогуманитарных представлений о болезни в общую метатеоретическую модель. Сложившиеся частнонаучные подходы к феномену, а также его толкование до настоящего времени не объединены в единое целое общей терминологией и языком описания. Принцип взаимодополнительности философской и медицинской методологий и междисциплинарного анализа в качестве методов исследования обеспечивает её теоретическое построение и практическое использование. Категория «состояние» и системный подход также применяются для системного параметрического анализа конкретных моментов и периодов человеческой жизнедеятельности. Субстанциальная основа феномена в широком онтологическом измерении, свойственном бытию личности, показана впервые. В онтологическом аспекте исследования такая основа обозначена как соединительнотканная рефлексивная информационная причинность, механизмы которой существуют и проявляются в системе взаимодействий духовного и телесного, психического и соматического в человеке как социальном субъекте истории. Создание новой платформы для осмысления и изучения феномена болезни в эпистемическом отношении связывается с современными естественнонаучными достижениями, привносящими дополнительный потенциал в сферу метапарадигмального исследования сознания как процессуальной основы здоровья и болезни. Социально распределённый феномен болезни в настоящем исследуется в конвергенции прикладных и социогуманитарных подходов и требует обновления сложившегося языка описания.

Ключевые слова: болезнь, социум, социальная среда, организм человека, мировоззрение, системный подход, семиотический подход, информационный подход, синергетический подход, философские технологии, кибернетический подход, интерсубъективная коммуникация

THE DISEASE CONCEPTION IN THE HISTORY OF MEDICINE AND SOCIAL REALITY. ANTHROPOLOGICAL COMPONENT AND EPISTEMICAL ATTITUDE

Pesotskaya E.N., Inchina V.I.

*National Research Mordovia State University named N.P. Ogareva,
Saransk, e-mail: dep-general@adm.mrsu.ru*

The real research is connected with a research of prospects of association of natural-science and socio-humanistic ideas of a disease in the general metatheoretical model. The developed own-scientific approaches to a phenomenon and also his interpretation so far not united in a whole the general terminology and language of the description. The principle of mutually complementarity of philosophical and medical methodologies and the cross-disciplinary analysis as methods of a research provides her theoretical construction and practical use. The category «state» and system approach are also applied to the system parametrical analysis of the concrete moments and periods of human activity. The substantive basis of a phenomenon in the broad ontologic measurement peculiar to life of the personality, is shown for the first time. In ontologic aspect of a research such basis is designated as combine-material reflexive information causality which mechanisms exist and are shown in the system of interactions spiritual and corporal, mental and somatic in the person as the social subject of history. Creation of the new platform for judgment and studying of a phenomenon of a disease in epistemic position contacts the modern natural-science achievements introducing additional potential to the sphere of a metaparadigmally research of consciousness as a procedural basis of health and a disease. Socially distributed disease phenomenon in the present is investigated in convergence of applied and socio-humanistic approaches and demands updating of the developed description language.

Keywords: disease, society, social environment, human body, worldview, system approach, semiotics approach, information approach, synergetic approach, philosophical technologies, cybernetic approach, inter-subjective communication

Материалы и методы: метод междисциплинарного анализа, принцип взаимодополнительности философской и медицинской методологий, описательный подход.

Феномен болезни исторически имеет выраженное социальное, символическое и сакральное значение и сложную специфику и носит не только медицинский характер. В его рассмотрении преобладают в основном частнонаучные подходы, до настоящего

времени не объединённые в единое целое общей терминологией и языком описания [1–3]. Стремление человека к жизни без болезни и без боли является стремлением к тому, каким он хотел бы и должен являться как некое онтологическое целое. Онтологизация современного антропологического знания означает углубленное познание субстратности и феноменальности человека. Человеческий контур пребывает в несколь-

ких мирах, в том числе и в виртуальном. В момент болезни человека мир телесный становится важнее, чем остальные миры. В болезни актуализируется и становится ценностью реальный мир.

Результаты исследования и их обсуждение

Проблема определения понятий «болезнь – здоровье» относится к вечным проблемам медицины вообще, и к проблематике конкретных медицинских направлений в частности. Парадоксально то, что долгая история врачевания и значительно более короткая история применения специальных знаний из различных направлений имеет объектом болезнь и больного, а единого согласованного определения этих категорий не сложилось. Многовековое стремление раскрыть содержательную сущность болезни, дать количественную оценку этой сложной социальной категории пока не получило успеха. «Болезнь» со времён древнейшего мира и цивилизации толкуется как клинический, а позднее как клинико-анатомический комплекс.

Сверхъестественное начало болезни в религиозной медицине отражает её возникновение по божественной воле, как результат наказания, милости Бога или испытания. Она может также возникать и в результате божьего пощужения. Болезнь рассматривается как одна из сущностей бытия, средств, искупления, познания, ступень к блаженству. Это форма преодоления греха. Религиозная модель болезни в различных религиозных картинах мира сохраняет статичное понимание феномена болезни и не противоречит гуманистической традиции в науке.

К XIX в. болезнь уже понимается как диссонанс или расстройство нормальной жизнедеятельности тела. В основу такого представления положены изменения материальных составляющих, на которые следует действовать биохимическим путём.

В 1920-е гг. на основе развития представлений о болезни и её сложившихся моделей (мистических, религиозных и натурфилософских) в качестве итоговой формируется естественнонаучная модель. В этот же период используется идея целостности организма (в отношении своего соматического содержания), позже – идея системности в понимании феномена.

Современная классическая медицина не может воздействовать на всю систему человеческой организации и потому не в состоянии избавить человечество от болезней. Происходит период постепенной замены сложившихся подходов к болезни. Болезнь

как неопределённая и многоаспектная категория усложняется категориями «предпатология», «летучие процессы» и «предболезнь».

В 1980-е гг. в методологии медицины понимание болезни исходит из идеи системности, что теоретически определяет отечественные лечебно-диагностические практики в рамках действующей естественнонаучной модели болезни.

Современная научная картина мира как синтез учения о глобальном эволюционизме с синергетикой характеризует мировое развитие как смену структур, рождающихся из хаоса, временно обретающих стабильность и вновь стремящихся к хаосу. Возрастает значение случайностей, способных резко менять сценарии развития, в связи с чем меняются представления о динамике развития феноменов, когда генеративная роль самого человека, его сознания и мировоззрения всё более выступает причинностью болезней.

Мы разделяем позицию современных авторов в том, что болезнь мыслится как сложный результат исторического взаимодействия человека с окружающей его средой, в том числе социальной [3, 4].

Оценка концепций болезни в рамках парадигмального знания о человеке означает обращение либо к научной, либо к ненаучной модели человека как носителя данного феномена. Отличия антропологических концепций в рамках парадигм научного и вненаучного знания подробно исследованы [5]. Каждая из концепций не универсальна и методологически ограничена. Эти парадигмы нуждаются во взаимодополнении для описания свойств мира в рамках единой конструкции. Игнорирование же данных свойств дескредитирует сами концепции.

Оценка моделей человека в рамках парадигм научного и вненаучного знания позволяет выделять пределы их инструментальных возможностей. В качестве персонализированных концепций человека исследованы те, в которых совмещаются философские и медико-биологические аспекты представлений о человеке [5]. В качестве варианта научной концепции человека использованы представления отечественного генетика и антрополога Н.П. Дубинина, в качестве варианта вненаучной концепции человека – взгляды Е.П. Блаватской и её интерпретаторов из сферы практической медицины.

Развитие конкретного направления медицины и разработки методов лечения заболеваний определяется общетеоретическими представлениями о человеке, норме и патологии. Направления официальной медицине давно функционируют в конкурентных

условиях, потому современный врач должен достаточно точно представлять сущность, возможности и приемы различных направлений, сложившихся во взаимосвязи с философской методологией как всеобщим методом познания человеческой природы.

С ростом интереса к мультидисциплинарным аспектам изучения болезни актуализируется исследование взаимодействий социальной среды и знаково-символической природы психики в норме и патологии, их влияние на целостность человека. Так оформляется семиотический подход к болезни, которому в настоящем принадлежит одна из важнейших объяснительных функций в общей медицинской и антропологической методологии. Подход появляется с рассмотрением боли как симптома в раннедокументированных древних источниках и получает название «семейона», что порождает название семиотики как науки. Как целостное учение о признаках болезни и их диагностическом значении семиотика ставит задачу всесторонней информативной оценки симптомов в диагностике. В семиотке болезни изучаются симптомы и признаки общих характеристик пациента. Место болевого фактора как итога динамического взаимодействия биосоциальных, психологических и культурных характеристик, рассматривает биопсихосоциальная концепция конца XX в. Дж. Энджела, выполняющая интегративную роль. Развитие системного интегративного подхода как описательного, затрагивает данный вопрос как междисциплинарный. При лечении болезни воздействие как на психологические, когнитивные процессы, эмоциональные особенности личности, её сознание и коммуникацию происходит через речь. Будда в контексте описания знаменитого восьмеричного пути спасения первым упоминает правильную речь как процесс воздержания от лжи, клеветы, жестоких слов, означающую ступень к истине и залог здоровья. Тем самым обозначено наследие этико-философских представлений о причинных отношениях духовного и телесного, психического и соматического в человеке. Таким образом, конвергенция материальных уровней реальности и когнитивных уровней человеческого опыта реализуется семиотически, посредством субмолекулярных процессов в генерации знаков, феноменов и интересубъективных коммуникаторов. Причинность заболеваний располагается в данном наномасштабе и антропологически связана с эффектами смысла. Это даёт основание рассматривать феномен болезни трансдисциплинарно и социально распределённо.

Феномен человека фокусирует информационную и субстратную реальности, где методологии и языки описания его состояний пересекаются. Категория болезни не становится исключением. Так, изучение информации и информационных накопителей в живом как базовой формы для существования и проявления потенциала семиотических систем, способствовало выделению информационного подхода к болезни на рубеже XX–XIX вв. как общенаучному. Это означало, что понять болезнь можно только в рамках зависимости: «информация – энергия – вещество». Язык взаимосвязан с разными семиотическими системами, что означает возможность рассмотрения комплексного воздействия коммуникации на субстрат человека через когнитивные схемы. В рефлекторных схемах сознательной регуляции деятельности личности постоянно присутствует системообразующая роль языкового синтеза в понятиях и умозаключениях, выработанная эволюционно. В связи с этим в анализе роли семиотического подхода мы придерживаемся психолингвистической концепции, толкующей текст как коммуникативно-познавательную и функциональную [авт.] единицу, и определяем его как обращённое вовне опредмеченное локусное ментальное образование. Благодаря этому синтетическое единство личностных качеств индивида социально, и феномен болезни распределяется социально. Данное образование несёт функциональную сапогенетическую и физиологическую нагрузку. Имея принадлежность к мировоззрению индивида, семиотические системы становятся функциональными системами его организма, связанными с определённым с этно- и социокультурным потенциалом. Оценка природы болезни дополняется изучением объекта исследования в герменевтической плоскости, представляя собой информационный сбой, а здоровье – оптимальную реакцию на любую информацию.

Социальность органически связана с антропологической составляющей. Антропологический подход к болезни, исторически отражающий зависимость уровня медицины от религиозной антропологии, решает проблему понимания болезни через фиксацию её истинных причин – нарушения целостности устройства человека, деформаций образа его жизни. Данная причинность в условиях технологических деформаций медицины, ставших следствием её отрыва от религиозной антропологии, в контексте философско-антропологического подхода к болезни, актуальна для понимания онтологической сущности болезни как нарушения инстинктивной духовности.

Потребность анализа психофизиологического статуса организма через функциональную сферу, динамики его развития как нелинейной системной сложности приводит к необходимости рассмотрения вышеупомянутого понятия «информации» или меры порядка.

В эссенциальной научной парадигме начала XXI в. категория информации имеет отношение к синтаксическому, семантическому, прагматическому и физическому описанию своего носителя, кодовой структуры в теоретическом объединении сложившихся терминологий описания в единое целое. Так решается проблема объяснения природы сложных биосоциальных феноменов, поле исследования которых располагается в плоскости естествознания, социогуманитарных наук и медицины одновременно.

Информационную медицину можно характеризовать как необходимое дополнение и развитие области действия официальной классической медицины. Информационная медицина как совокупность исследований на границе медицинских и информационных концептов поддерживает взаимосвязь процессов сигнального общения на всех уровнях организма как внутри его, так и на уровне взаимодействия информационных потоков с живыми составляющими внешнего мира.

В медицине эффективно используется основной принцип математического подхода – *моделирование*, создание модели для последующего изучения конкретно-научной сигнальной модели Природы, и в данном случае – информационной модели. Смысл изучения информации и информационной медицины в контексте анализа болезни такой же, как и математики – *инструментальный* и постановочный на первом этапе своего образования и практической работы, и *системный* и *общенаучный* – в последующей деятельности. Порождение информации, её конвергентность обеспечивают существование природы и человека как открытых квантовых систем, существование которых возможно только в контекстном взаимодействии.

В концепции информационного обмена, формирующей представления об информации как инструменте интерактивной социальной коммуникации, болезнь толкуется как информационный сбой в деятельности организма. Производящим началом информационной причины болезни выступает специфическая структура мозгового нейродинамического кода, в которой воплощена информация, «воздействие души на тело». Таким образом, информационная медицина выполняет роль основы адаптации, психи-

ческой и физиологической гармонизации человеческой индивидуальности к информатизации общества.

Перспектива конвергенции информационных, биологических, нано- и когнитивных технологий (как NBICS-процесс в гуманитарных науках [6]), создающих средства преобразования природы человека и одновременно риски для неё, направлена от прикладных к социогуманитарным технологиям. Создание новых, в том числе гибридных, субстанций как форма управления биологическими процессами на субмолекулярном уровне формирует новый социально-технологический уклад с новыми ценностными ориентирами и представлением о человеческой сущности. Место философских технологий как социогуманитарных заключается в инструментальном применении мировоззренческого подхода к болезни с практической реализацией его в качестве средства саморегуляции, актуализации человека через его самопознание и биосоциальную адаптацию [7].

Философская категория состояние является логической единицей для системного анализа конкретных моментов и периодов онтогенеза. В широком парадигмальном значении в неё должны включаться и операциональные характеристики слов как элементарных структурных единиц ментальности-мышления. В познавательном аспекте категория «состояние» тесно смыкается с категорией единичного (индивидуального). В физиологии как в частнонаучном знании состояние служит интегральной характеристикой биосистем и представляет интерес в методологическом плане: процесс воспитания, протекающий во времени, характеристики которого измерены и зафиксированы, теряет неопределенность и может быть описан рядом сменяющих друг друга состояний (как начальный уровень получения информации, или первичное количество информации, изменяющейся во времени). Суммируемые признаки субъективной и объективной оценок характеризуют самочувствие индивида, и в клинической практике обозначаются термином «состояние» [8]. В теоретическом же естествознании широко применяется категория «функциональное состояние», несущая вероятностный смысл. Прикладной аспект использования категории состояние (функциональное состояние) присутствует в медицинских науках и в системном подходе к болезни. Он заключается в том, что с её помощью получают комплекс описательных характеристик уже минувшего состояния, в частности, проявления патоса в динамике. Это фиксирует определенный

временной «срез» исследованных функций в качественных и количественных выражениях и традиционно является существенным в теоретико-практическом отношении.

Выводы

1. Роль состояния сознания как системного параметра, играющего решающую роль в понимании болезни, подтверждает парадигмально новые естественнонаучные и философские позиции в несмежных областях знания для развития представлений о процессе болезни. Её исследование перспективно посредством квантовых и синергетических подходов, несущих дополнительный потенциал исследования.

2. Обращение медицины к личностной индивидуальности и применение соединительнотканной теории биологии и медицины к анализу означает включение в проблему онтологического параметра и актуальность онтологического подхода к болезни как связующего онтос индивида и всю соединительнотканную реальность. Понятие о соединительнотканном механизме жизнедеятельности даёт фундаментальное теоретическое основание для заключения о том, что состояние функциональных комплексов организма в онтогенезе определяет мотивационный соединительнотканый механизм субстратности человека. Механизм отражает сущность болезни, исходя из природы патологической соединительнотканной рефлексии и памяти. Таким образом, можно сформировать общую модель производящих начал информационной причинности в терапии. Влияние психического, идеального на материальное (физиологическое) в том, что психическое, как информационное содержание мозговых нейродинамических кодов, управляет в том смысле, в каком управляет информация.

3. В соединительнотканной медицине лечение как воздействие интеллекта врача представляет собой эпистемическое действие в поле соединительнотканной рефлексии. Диагностическое познание носит полевою обусловленность, что эпистемически влияет на иерархию гомеостатических процессов от информационного до тканевого, на интенсивность мотивационно-соединительнотканного механизма. Появление моделей структурированных устойчивых систем гомеостатического типа даёт основание использовать их для построения моделей человеческого организма в парадигме системной медицины. Введение в модели параметров, всесторонне характеризующих

нестабильность в период болезни, углубляет кибернетический подход к явлениям, происходящим в живом. В связи с вышеобозначенными взаимодействиями эпистемический подход к болезни состоятелен в границах сложившегося представления

4. Феномен болезни социально распределён и может эффективно рассматриваться в конвергенции прикладных и социогуманитарных подходов, естественнонаучной и социогуманитарной парадигм. Субстанциальная основа феномена в онтологическом измерении представляет собой соединительнотканную рефлексивную информационную причинность, механизмы которой существуют и проявляются в системе взаимодействий духовного и телесного, психического и соматического в человеке как социальном субъекте истории.

Заключение

Сложившиеся в науке теоретические подходы к пониманию болезни возможно объединить только на базе конкретных представлений о человеке, существующих в антропологии. Это означает междисциплинарный анализ рефлексий в терапии, который следует рассматривать эмпирически как эпистемическое действие. Исследовательский потенциал подходов по принципу взаимодополнительности обеспечит полноту атрибутивного анализа феномена для создания его общей метатеоретической модели.

Список литературы

1. Албегов Е.В., Бутенко Д.В., Бутенко Л.Н. Гомеостатика: концептуальное моделирование структурированных устойчивых систем: монография. М., 2014. С. 66–88.
2. Данилов А.В. Биопсихосоциокультурная модель боли // Врач. М. 2009. № 12. С. 5–8.
3. Хабулава Г.Г. Философско-антропологический анализ коммуникации врача и пациента: дис. ... д-ра филос. наук. 09.00.13. Санкт-Петербург, 2016. 309 с.
4. Heuer B. The words we work with that work on us: clinical paradigm and cumulative relational trauma. *J Anal Psychol.* 2017. Nov; № 62 (5). P. 720–731. DOI: 10.1111/1468-5922.12359. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28994476> (дата обращения: 17.11.2018).
5. Песоцкая Е.Н. Метатеоретическая модель философского обеспечения медицины: аспекты оптимизации = *Metatheoretical model of philosophical coverage of medicine: optimization aspects*: монография. Саранск: М-во науки и высшего образования РФ, МГУ им. Н.П. Огарёва, 2018. 188 с.
6. Файола Э., Войскуновский А.Е., Богачёва Н.В. Человек дополненный: становление киберсознания // *Вопросы философии.* 2016. № 3. С. 147–162.
7. Алексеев А.А. Интегративная (системная, семейная) соединительнотканная медицина. Т. 3. М.: ЛЕНАНД, 2005. 528 с.
8. Силуянова И.В. Антропология болезни. Изд-во Средне-монастырская, 2007. 65 с.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 616.832-001-085:577:611.013(048.8)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК
В ЛЕЧЕНИИ ТРАВМ СПИННОГО МОЗГА****Кузнецов С.Б., Корель А.В.***ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: sergei_kuznetsov@yahoo.com*

Несмотря на успехи в медицине и развитие хирургической техники, сегодняшняя клиническая терапия повреждений спинного мозга в значительной степени неэффективна. Травмы спинного мозга по-прежнему остаются одними из самых сложных патологий, известных человечеству, не поддающихся терапевтическому лечению и с очень пессимистичным прогнозом. Достижения в биологии стволовых клеток за последние десятилетия показали, что стволовые клетки разного происхождения могут обеспечить неисчерпаемый источник нейронов и глиальных клеток для клеточной терапии, а также оказывать нейрозащитное действие на травмированную ткань, открывая тем самым новые горизонты для тканевой инженерии и регенеративной медицины. В этом обзоре мы приводим особенности стволовых клеток, происходящих из разных источников, и обсуждаем достижения в клеточной терапии травм спинного мозга. Акцент был сделан на применении индуцированных плюрипотентных клеток (ИПК) и взрослых мезенхимальных стволовых клеток (МСК). Далее мы рассматриваем особенности мезенхимальных стволовых клеток, происходящих из костного мозга и адипозной ткани в применении к лечению травм спинного мозга, а также последние и наиболее значимые результаты исследований *in vitro* и *in vivo*, посвященных регенеративным и нейрозащитным свойствам МСК.

Ключевые слова: индуцированные плюрипотентные клетки, мезенхимальные стволовые клетки, травма спинного мозга, клеточная терапия

THE USE OF STEM CELLS IN THE TREATMENT OF SPINAL CORD INJURIES**Kuznetsov S.B., Korel A.V.***Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Y.L. Tsivyan, Novosibirsk, e-mail: sergei_kuznetsov@yahoo.com*

Despite advances in medicine and the development of surgical techniques, today's clinical therapy for spinal cord injuries is largely ineffective. Spinal cord injuries are still one of the most difficult pathologies known to mankind, which are not amenable to therapeutic treatments and with a very pessimistic forecast. Advances in stem cell biology over the past decades have shown that stem cells of different origin can provide an inexhaustible source of neurons and glial cells for cell therapy, and also have a neuroprotective effect on injured tissue, thus opening new horizons for tissue engineering and regenerative medicine. In this review, we present the features of stem cells originating from different sources, and discuss the achievements in cell therapy of spinal cord injuries. Emphasis was placed on the use of induced pluripotent cells (IPC) and adult mesenchymal stem cells (MSCs). Next, we consider the features of mesenchymal stem cells derived from bone marrow and adipose tissue as applied to the treatment of spinal cord injuries, as well as the latest and most significant results of *in vitro* and *in vivo* studies on the regenerative and neuroprotective properties of MSC.

Keywords: induced pluripotent cells, mesenchymal stem cells, spinal cord injury, cell therapy

Повреждение спинного мозга – механическая травма или следствие заболевания – часто приводит к необратимым для пациента последствиям. Поврежденные аксоны центральной нервной системы слабо подвержены регенерации, что ведет к полному или частичному параличу организма ниже точки повреждения спинного мозга, мучительному не только физически, но и морально для пациента. Большинство таких травм являются результатом дорожно-транспортных происшествий, криминальных нападений, промышленных аварий и других несчастных случаев. Но повреждение спинного мозга может быть результатом не физических травм, а инфекций, недостаточного кровотока и опухолей. В настоящее время лечение травм спинного мозга в основном ограничивается введени-

ем высоких доз стероидов для предотвращения отека спинного мозга и уменьшения вторичного воспалительного процесса, но эффективность такого лечения невысока. Частота травм спинного мозга во всем мире составляет в среднем 40–80 пострадавших на миллион человек, при этом, по данным Всемирной Организации Здравоохранения за 2013 г., ежегодно повреждения спинного мозга повсеместно получают от 250 000 до 500 000 человек. До совсем недавнего времени повреждение спинного мозга означало пожизненное заключение пациента в инвалидном кресле. Однако в последнее десятилетие в мире были проведены обширные исследования по использованию стволовых клеток при лечении травм спинного мозга. С точки зрения научных достижений открытие и использование стволовых клеток

для лечения заболеваний и травм является одной из важных вех в медицине. Если какое-либо открытие в медицине и можно назвать революционным, то это использование стволовых клеток в регенеративных процессах любого типа. Ученые из разных стран и лабораторий использовали различные стволовые клетки – эмбриональные, индуцированные плюрипотентные, взрослые стволовые клетки из различных тканей. Стволовые клетки разного происхождения в своей исходной форме не дифференцированы и способны под воздействием специфических факторов направленно дифференцироваться в нужный тип клеток. Терапия стволовыми клетками, а точнее, трансплантация стволовых либо дифференцированных клеток используется для восстановления тканей или органов, которые были повреждены в ходе заболевания или травмы. Трансплантация стволовых клеток пациентам с травмами спинного мозга имеет очень большой потенциал в их лечении и полном восстановлении, а значит, в возвращении к привычному для них образу жизни.

Эмбриональные стволовые клетки (ЭСК) имеют максимальный потенциал для дифференцировки в любые типы клеток, из которых состоит взрослый организм. Однако использование эмбриональных клеток в медицине ограничено целым рядом причин. Среди них на первых местах стоят этические причины, так как источником этих клеток могут быть только человеческие эмбрионы на стадии бластоцисты. Кроме того, есть и биологические причины, ограничивающие использование эмбриональных клеток в медицине, а именно, стволовые клетки, полученные из эмбрионов, будут являться аллогенными для пациента, что приведет к иммунному конфликту между клетками и организмом пациента. Мы подробно описали все ограничения на использование эмбриональных клеток в медицине в обзоре [1]. Своеобразной революцией в биологии и медицине стало открытие способов перепрограммирования дифференцированных клеток в плюрипотентные, подобные эмбриональным стволовым клеткам, которые называют индуцированными плюрипотентными клетками (ИПК). Перепрограммирование позволяет использовать клетки самого пациента, например фибробласты кожи, для получения плюрипотентных клеток с последующей направленной дифференцировкой. Методы перепрограммирования дифференцированных клеток описаны нами в том же обзоре [1]. В последние пару десятилетий в биологии активно развивались способы направленной дифферен-

цировки стволовых клеток для получения желаемых клеточных типов. К настоящему времени уже накоплен опыт получения нужных типов клеток из различных тканевых стволовых клеток, называемых мультипотентными, чей потенциал ниже, чем у плюрипотентных. В этом обзоре мы представляем результаты исследования свойств индуцированных плюрипотентных клеток и мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток и перспективы их использования при лечении травм спинного мозга.

Индукцированные плюрипотентные клетки. В 1999 г. Макдональд с коллегами впервые продемонстрировали эффективность трансплантации клеток предшественников нейронов в поврежденный спинной мозг [2]. Они получали клетки предшественников из мышечных эмбриональных стволовых клеток и пересаживали их в спинной мозг крысы через 9 дней после травмы. Привитые клетки дифференцировались в нейроны, олигодендроциты и астроциты в поврежденной ткани и мигрировали вдоль rostrocaudальной оси от пораженного эпикавентрального центра. По прошествии восстановительного периода животные с трансплантированными клетками показали способность поддерживать вес тела на задних ногах и частично передвигаться. В мире было проведено множество экспериментов с трансплантацией клеток предшественников нейронов в зону повреждения спинного мозга. Кроме эмбриональных стволовых клеток использовали и другие источники клеток предшественников, например головной мозг. Понятно, что все эксперименты проводились с клетками и тканями животных, и переносить эти эксперименты в клиническую медицину по этическим соображениям было невозможно. В 2006 г. японские ученые показали, что в фибробластах мыши можно восстановить плюрипотентность через экзогенную экспрессию четырех транскрипционных факторов, Oct3 / 4, Sox2, c-Myc и Klf4, которые в соматических дифференцированных клетках не активны, превратив их, таким образом, в индуцированные плюрипотентные клетки (ИПК) [3]. Разнообразные типы ИПК млекопитающих были получены различными методами, и каждый из этих типов имеет разные биологические свойства. Прежде чем начать клиническое использование самих ИПК или клеток на основе их дифференцировки, необходимо провести детальную оценку клеток, включая потенциалы их дифференцировки и онкогенную активность в различном микроокружении для определения их безопасности и эффективности при трансплантации клеток. Исследователи из Японии [4] продемонстрировали направлен-

ную нейронную дифференцировку ИПК мыши и исследовали их терапевтический потенциал в модели повреждения спинного мозга мыши. Нейронные стволовые клетки и клетки предшественники, полученные из ИПК мышей, были предварительно оценены как неонкогенные путем их трансплантации в мозг иммунодефицитных мышей. После проверки такие клетки были пересажены в спинной мозг мышей на 9 день после клинической имитации травмы. Трансплантированные клетки дифференцировались во все три нейронные линии без образования тератом или других опухолей. Они также принимали участие в повторной миелинизации и индуцировали рост аксонов, способствуя восстановлению функциональной моторики организма. При вполне успешном завершении экспериментов авторы, тем не менее, считают, что их результаты являются лишь первым шагом к клиническому применению стволовых клеток. Смешанная группа исследователей из Испании и Австралии в своей статье [5] отмечает, что по-прежнему недостаточно информации о специфике дифференцировки трансплантированных нейронных стволовых клеток (НСК), происходящих из ИПК, в поврежденном спинном мозге. Они трансплантировали НСК, полученные из индуцированных плюрипотентных клеток, которые получили перепрограммированием соматических клеток взрослого человека, крысам через 0 или 7 дней после клинической имитации травмы спинного мозга, и оценивали потенциал восстановления моторики и локомоцию животных. Они также гистологически анализировали приживание, пролиферацию и дифференцировку НСК в наростной ткани в спинном мозге в течение 7, 21 и 63 дней после трансплантации. В конечный момент времени большинство привитых клеток дифференцировались в нервные и астроглиальные линии, но не в олигодендроциты, тогда как некоторые привитые клетки оставались недифференцированными и пролиферирующими. Предварительное воспаление тканей поврежденного спинного мозга индуцировало пролиферацию пересаженных клеток и, следовательно, существуют возможные риски, связанные с трансплантацией нейронных стволовых клеток, полученных из ИПК. Существуют опубликованные сообщения о негативных результатах использования ИПК для лечения травм спинного мозга. В двух статьях [6, 7] показано, что, несмотря на способность дифференцироваться в нервные клетки, клетки предшественники, происходящие из ИПК, не показали существенного улучшения функционирования организма после транс-

плантации. Кроме того, требуется много времени для создания и оценки ИПК [8], что делает эти клетки нереалистичным инструментом для персонализированной ИПК-терапии, поскольку оптимальное время для трансплантации стволовых клеток приходится на подострую фазу [9]. Как следствие этих фактов получается: либо ИПК должны иметь донорское происхождение, тем самым пропуская основной фактор, которым они привлекательны в первую очередь, либо они должны трансплантироваться в хронические фазы травмы [10], а поздняя трансплантация показала плохие результаты. Более важным является то, что индуцированные плюрипотентные клетки, как и эмбриональные стволовые клетки, не лишены тератогенной и онкогенной активности [11–13]. Японский исследователь Окано в своей статье [14] описывает, что вторичные нейросферы, полученные из различных ИПК мыши, способны к дифференцировке в клетки нервной системы и образованию тератом после трансплантации в спинной мозг иммунодефицитных мышей NOD / SCID. Автор с коллегами обнаружили, что происхождение (источник соматических клеток) ИПК является решающим фактором, определяющим потенциальную онкогенность нервных клеток и клеток предшественников, полученных из ИПК, и что их онкогенность обусловлена постоянным присутствием недифференцированных клеток во вторичных нейросферах. Далее указывается, что нейронные стволовые клетки, полученные из ИПК без *c-Myc* гена, отбираемые без использования селективных препаратов, показали устойчивую онкогенность. При этом в химерных мышцах, полученных с их участием, тератом не выявлено. Кроме того, ученые исследовали, может ли трансплантация неонкогенных нейронных стволовых клеток на основе Nanog-ИПК способствовать восстановлению локомоторной функции в модели повреждения спинного мозга мыши. В результате они обнаружили, что должным образом предварительно оцененные клетки, основанные на клонах ИПК, могут быть перспективным источником клеток для будущей трансплантационной терапии травм спинного мозга. Хотя использование донорских клеток не является оптимальным, группа финских исследователей [7] решили проверить эффективность лечения травм спинного мозга индуцированными плюрипотентными стволовыми клетками аллогенного, или даже ксеногенного, происхождения. При аллогенной трансплантации ИПК крайне важно исследовать влияние терапии стволовыми клетками на функциональное

восстановление после травмы спинного мозга с использованием фармакологически иммуносупрессированных иммунокомпетентных моделей животных. Они изучили функциональный результат трансплантации человеческих нервных стволовых клеток, полученных из ИПК, в поврежденный спинной мозг мыши в подострой стадии, используя такролимус в качестве иммунодепрессанта. Для экспериментов использовали мышей линии C57BL/6J, которые не являются иммунодефицитными. Эксперименты показали, что человеческие нервные стволовые клетки, трансплантированные в спинной мозг фармакологически иммуносупрессированным мышам, обеспечивали плохую долгосрочную выживаемость и не смогли улучшить функциональное восстановление после травмы спинного мозга. Авторы предположили, что недостаточный эффект терапии на основе ИПК, наблюдаемый в их экспериментах, может быть связан с недостаточным иммунодепрессивным эффектом, обеспечиваемым монотерапией такролимусом в сочетании с иммуногенностью трансплантированных клеток и сложным микроокружением поврежденного спинного мозга. Тем не менее группа китайских ученых провела метаанализ публикаций 2011–2017 гг. [15], в которых приводились результаты экспериментов по использованию ИПК в лечении травм спинного мозга у крыс. В анализ были включены 79 статей с результатами лечения 212 крыс. По совокупности результатов их систематического обзора и метаанализа поддерживается гипотеза о том, что трансплантация ИПК из эмбриональных легочных фибробластов человека и эмбриональных фибробластов мыши улучшает восстановление локомоторной функции у крыс, подвергнутых клинической травме спинного мозга, и представляет собой, по существу, перспективный для клинической медицины инструмент.

Коллектив японских исследователей в своей статье [16] отмечает, что основная масса исследований в области трансплантации стволовых клеток в зону повреждения спинного мозга были сделаны на грызунах. Поскольку существуют значительные различия в нейроанатомии и иммунологических ответах между грызунами и приматами, то крайне важно определить эффективность и безопасность трансплантированных аллогенных нейральных предшественников, полученных из эмбриональных стволовых клеток в модели повреждения спинного мозга у нечеловекообразных приматов. В этом исследовании авторы использовали ЭСК как источник нейральных предше-

ственников, а не ИПК, но мы включили их результаты в свой обзор. Авторы использовали нейральные предшественники, полученные из эмбриональных стволовых клеток обыкновенной мармозетки, которые они трансплантировали взрослым мармозеткам в эпицентр травмы спинного мозга через 14 дней после поражения. В контрольной группе вместо клеток вводили забуференный фосфатом физиологический раствор. В присутствии низкой дозы такролимуса несколько привитых клеток выживали без образования опухолей и дифференцировались в нейроны, астроциты или олигодендроциты. Иммуоэлектронное микроскопическое исследование показало, что привитые олигодендроциты, полученные из нейральных предшественников, способствовали ремиелинизации демиелинизированных аксонов. Кроме того, некоторые привитые нейроны образовывали синаптические связи с клетками-хозяевами, а некоторые трансплантированные нейроны были миелинизированы клетками-хозяевами. В конце концов, восстановление функционального состояния организма значительно улучшилось в группе трансплантации по сравнению с контрольной группой. В совокупности их результаты показывают, что аллогенная трансплантация нейральных предшественников у нечеловекообразного примата способствовала функциональному восстановлению после травмы спинного мозга без выявленной онкогенности. Еще в одном исследовании не человекообразных приматов, а именно, на макаках резус, показали положительные результаты, связанные с использованием стволовых клеток. Используя взрослые обезьяны нейронные стволовые клетки для трансплантации, Немати с коллегами [17] показали, что сенсорная и моторная функция улучшаются быстрее, чем у контрольных животных. Кроме того, контрольные животные проявляли только некоторые движения в суставах, тогда как животные, инъекцированные стволовыми клетками, проявляли активные движения конечностями.

Российско-китайский коллектив ученых в своем обзоре [18] пишет, что недавние исследования показали схожесть морфологических характеристик, плюрипотентностей и самообновления, а также свойств экспрессии генов у ЭСК и ИПК. Однако по сравнению с ЭСК, низкий процент нейральных предшественников имеет тенденцию дифференцироваться в нейронные линии при направленной дифференцировке ИПК. Поэтому разработка эффективной программы индукции, ориентированной на нейронную линию, важна для клинического примене-

ния индуцированных стволовых клеток. Эксперименты также показали увеличение частоты возникновения раковых опухолей в ЦНС после трансплантации нейронов, полученных из ИПК, и это может быть результатом продолжительной экспрессии факторов транскрипции во время перепрограммирования, что имеет тенденцию увеличивать появление тератом. Ученые, работающие в этом направлении, улучшили схему перепрограммирования с использованием аденовирусных транспозонов или прямой трансдукции белка. При необходимости вводятся факторы транскрипции для достижения перепрограммирования и снижения скорости опухолеобразования клонированных потомков ИПК.

Группа ученых из Техаса (США) провела серию экспериментов с ИПК, которые являются потенциально неограниченным аутологичным источником клеток и обеспечивают хорошую способность к регенерации тканей, особенно при повреждении спинного мозга. В статье [19] они пишут, что, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в использовании нейронных клеток-предшественников, полученных из ИПК, в клинических испытаниях остаются некоторые проблемы. Среди них – разработка неинвазивного способа получения исходных клеток и более безопасное их перепрограммирование и очистка нейральных предшественников до трансплантации. В своем исследовании авторы разработали безопасный и экономически эффективный способ получения клинически приемлемых нейральных предшественников. Они выделяли клетки от мочи пациентов и перепрограммировали их в ИПК не интегрирующимися в геном векторами на основе вируса Сендай, затем проводили направленную дифференцировку. Нейральные предшественники очищали с помощью антитела A2B5, специфически распознающего гликоганглиозид на клеточной поверхности клеток нейронной линии. Чтобы проверить функциональность полученных клеток, они переносили их в поврежденный торакальный отдел спинного мозга. Через восемь недель после трансплантации привитые клетки выжили, интегрировались в поврежденный спинной мозг и дифференцировались в нейроны и клетки глии. Авторы указывают, что их особый акцент был сделан на источнике получения клеток, способах их перепрограммирования, дифференцировки и очистки специально предназначенных для решения вопросов для трансплантации при моделировании восстановления после травм спинного мозга.

Тем не менее временной фактор для успешного восстановления функций спинного мозга после травм остается самым важным. Японские авторы Нагоши и Окано в своем обзоре [20] пишут, что для получения ИПК и нейральных предшественников у пациента требуется около 6 месяцев (индукция соматических клеток в ИПК и их дифференцировка в нейральные предшественники требуют по 3 месяца каждый). Кроме того, для оценки качества полученных клеток, включая их онкогенный потенциал, потребуется больше года. Поскольку оптимальное время для трансплантации клеток находится в подострой фазе (через 2–4 недели после травмы), нереалистично пересаживать аутологичные ИПК-производные нейральные предшественники в течение этого временного окна. По данным этих авторов, на 2017 г. было проведено всего несколько исследований, в которых использовали трансплантацию нейральных предшественников в хронической стадии травмы спинного мозга. Поскольку большинство пациентов с травмой спинного мозга находятся в хронической фазе, необходимо постоянно искать способы выявления регенеративной эффективности привитых клеток-предшественников, возможно путем оценки микросреды поврежденного спинного мозга и проведения комбинаторной терапии с помощью лекарств. Введение лекарств или трофических факторов является еще одной стратегией для содействия регенерации поврежденного спинного мозга. Поскольку терапевтическая эффективность трансплантации нейральных предшественников при хронической стадии травмы спинного мозга не была установлена, возможно, комбинационная терапия, использующая специфичные препараты повысит регенеративный эффект. В хронической стадии на месте травмы образуется глиальный шрам, который препятствует прорастанию аксонов, и особенностью клеток шрамовой ткани является экспрессия хондроитинсульфатов, которые ингибируют рост аксонов [21, 22]. Хондроитинсульфаты (CSPG) являются мощными ингибиторами роста клеток центральной нервной системы у взрослых. Использование фермента хондроитиназы ABC (ChABC) для снижения ингибирующих свойств CSPG в экспериментальных моделях повреждения спинного мозга показало существенное улучшение функций в поврежденном спинном мозге. Английские авторы в своем обзоре [23] рассматривают доказательства того, что лечение травм спинного мозга на хронической стадии с помощью ChABC может оказывать многократное положительное влияние

на восстановление после травмы спинного мозга. К ним относятся содействие регенерации поврежденных аксонов, пластичность неповрежденных путей и нейропротекция поврежденных нейронов. Что еще более важно, было продемонстрировано, что терапия с помощью ChABC способствует значительному восстановлению функций организма у животных с поврежденным спинным мозгом. Таким образом, существуют надежные доклинические данные, свидетельствующие о положительном эффекте лечения хондроитиназой ABC после травмы спинного мозга. Кроме того, эти эффекты были воспроизведены в нескольких различных моделях травм с независимым подтверждением в разных лабораториях, что обеспечивает важную валидацию ChABC в качестве перспективной терапевтической стратегии. Комбинирование терапии хондроитиназой с трансплантацией нейральных предшественников, полученных из ИПК, существенно расширяет временные рамки для лечения травм спинного мозга и позволяет добиваться положительного эффекта даже на хронической стадии болезни, по крайней мере у экспериментальных животных. Тем не менее ученые ищут и другие подходы, чтобы иметь возможность восстанавливать поврежденный спинной мозг на острой и подострой стадиях заболевания. Одним из таких подходов является использование мезенхимальных стволовых клеток.

Мезенхимальные стволовые клетки. Источником получения мезенхимальных стволовых клеток традиционно считается костный мозг [24]. Однако пункция костного мозга является достаточно инвазивной процедурой, и в костном мозге присутствуют две популяции стволовых клеток: мезенхимальные стволовые и гемопоэтические стволовые. При выделении мезенхимальных стволовых приходится освобождаться от гемопоэтических стволовых клеток, что требует дополнительного времени на очистку и проверку выделенных клеток. Кроме костного мозга МСК присутствуют и в жировой ткани. Мезенхимальные стволовые клетки, полученные из жировой (адипозной) ткани, по-видимому, являются идеальной популяцией стволовых клеток для практической регенеративной медицины, потому что они практически лишены недостатков, присущих эмбриональным стволовым и индуцированным плюрипотентным клеткам. Кроме того, из-за их аутологичного происхождения они являются неиммуногенными, они многочисленны и легкодоступны для выделения. Несмотря на то, что МСК из адипозной ткани проис-

ходят из мезодермальных линий, несколько доклинических исследований показали, что использование адипозных МСК в регенеративной медицине не ограничивается мезодермальной тканью, но также распространяется как на экзодермальные, так и на эндодермальные ткани и органы.

Терапевтические особенности и безопасность МСК были описаны для нескольких заболеваний центральной нервной системы, включая амиотрофический боковой склероз, болезнь Альцгеймера и Паркинсона, рассеянный склероз, инсульт и травматическую травму головного мозга [25]. Изрядное количество авторов сообщают, что трансплантации МСК могут стимулировать регенерацию после травмы спинного мозга [26–28]. Мезенхимальные стволовые клетки, как было показано, регулируют иммунный ответ ткани после имплантации в место повреждения [29]. Более того, есть свидетельства, что трансплантированные МСК помогают принимающим аксонам прорасти в привитый (подсаженный) спинной мозг [30]. В предыдущие десятилетия было проведено множество экспериментальных исследований для разработки возможных вариантов лечения пациентов с повреждениями спинного мозга. Многие исследования показали определенную позитивную степень морфологических изменений, частично сопровождающихся восстановлением двигательных функций и поведенческих реакций в различных животных моделях [31, 32]. Препятствиями для трансплантационной терапии на основе клеток остаются низкие показатели выживаемости привитых клеток после трансплантации в поврежденный спинной мозг, удержание привитой клетки на месте поражения без миграции, заполнение образовавшейся полости поражения.

Несмотря на широкие исследования возможностей аутологичной трансплантации МСК при регенерации повреждений ЦНС, точные механизмы действия МСК на окружающие ткани все еще недостаточно ясны. В настоящее время признано, что эффективность трансплантации МСК основана на секреции широкого спектра веществ, которые вырабатываются либо клетками-реципиента, либо самими МСК (паракринная функция). Также известно, что МСК выделяют несколько факторов роста, таких как нейротрофический фактор мозга (BDNF), фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), фактор роста нервной системы (NGF), которые играют важную роль в питании и защите нейронов [33]. После трансплантации МСК способны проявлять прямую нейрозащитную функцию, уменьшая чувствитель-

ность нейронов к лигандам глутаматных рецепторов и изменяя экспрессию генов, что указывает на связь между терапевтическим эффектом МСК и активацией пластичности клеток в поврежденной ЦНС [34]. Кроме того, что трансплантированные МСК формируют свое микроокружение, они могут дифференцироваться в миелинирующие клетки, которые ремиелинируют демиелинированные аксоны. Эти ремиелинированные аксоны, покрытые миелином и окруженные базальной мембраной, в экспериментах демонстрируют улучшенную проводимость [35, 36]. Как и в случае с индуцированными плюрипотентными клетками, сравнение аутологичной и аллогенной трансплантации в острой и подострой фазах травмы спинного мозга у собак показало, что аутологичные МСК из спинного мозга дают лучший терапевтический эффект и лучшую выживаемость клеток по сравнению с аллогенными; однако, несмотря на меньший эффект улучшения нейральных функций, аллогенная имплантация МСК имеет некоторые преимущества практического аспекта: например, возможность хранить клетки в клеточном депозитории, сокращенное время подготовки клеток к трансплантации и стоимость самой подготовки, а также возможность использования гораздо большего числа клеток [37].

По морфологическим и фенотипическим характеристикам адипозные МСК и МСК из костного мозга существенно не различаются. Полученные из жировой ткани МСК имеют фенотип и профиль генной экспрессии, аналогичные таковым у МСК из костного мозга [38], и их можно легко индуцировать в ранние и зрелые нейроэктодермальные клетки с использованием метода, описанного немецкими учеными [39]. МСК из адипозной ткани пролиферируют значительно быстрее, чем МСК из костного мозга и также выделяют множество факторов роста, таких как фактор роста гепатоцитов (HGF) и фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), которые могут ускорять регенерацию поврежденного спинного мозга. Кроме того, жировая ткань содержит более многочисленные популяции МСК, чем костный мозг [40]. Так, только от 0,001 до 0,01% мононуклеарных клеток костного мозга являются стволовыми [41], а из 1 г жировой ткани можно выделить 5×10^3 стволовых клеток, что в 500 раз больше, чем из эквивалентного количества костного мозга [42], что делает адипозные МСК(ж) перспективным объектом для регенеративной медицины. Группа бельгийских ученых [43] выяснили, что МСК, выделенные из костного мозга, экспрессируют нейрон-

ные и глиальные белки (Nestin, Tuj-I, β -тубулин, тирозингидроксилазу [TH], MAP-2 и GFAP). После нескольких пассажей они отметили увеличение экспрессии более зрелых нейронных / глиальных белков (TH, MAP-2 и GFAP) после воздействия нейронной индукционной среды, что подтвердило дифференцировку МСК в нейроны и астроциты. А их израильские коллеги [44] продемонстрировали экспрессию 12 нейронных генов, 8 генов, связанных с нейродопаминергической системой, и 11 факторов транскрипции с нейронным значением в МСК человека. Их результаты показывают, что, в отличие от клеток, которые не экспрессируют нейронные гены, человеческие МСК предрасположены к дифференциации в нейронные и глиальные линии в специфических условиях. Это также объясняет относительную легкость, с которой МСК, трансплантированные в центральную нервную систему (ЦНС), дифференцируются в различные функциональные типы нейронных клеток. Однако чешские ученые [45] в своих экспериментах с МСК из адипозной ткани показали, что предифференцированные в нейральные сферы стволовые клетки *in vitro* экспрессируют NCAM, NG2, S100 и p75. Количественная РТ-ПЦР с различными интервалами после нейронной индукции показала повышенную экспрессию глиальных маркеров NG2 и p75 и маркеров нейрального предшественника NCAM и Nestin. Они также выявили три различных типа мембранных токов в этих клетках, однако ни один из них не указывал на зрелый фенотип нейронов. В экспериментах *in vivo* предифференцированные клетки выживали лучше, чем МСК из адипозной ткани, и тесно взаимодействовали с тканями хозяина, покрывая хозяйские аксоны и олигодендроциты. Некоторые трансплантированные клетки были NG2- или CD31-позитивными, но в них не были обнаружены специфические нейронные маркеры. Итальянские ученые показали, что нейротрофические особенности AMSC обладают своей специфической способностью экспрессировать не только секретлируемые нейротрофины / нейротропные молекулы, но также кодирующие гены структурных белков, имитирующие астроцитарную функцию в поддержании метаболизма нейронов и функции в центральной нервной системе, а также возможность дифференцироваться в астроциты [46].

В экспериментах китайских ученых на крысах человеческие стволовые клетки, выделенные из адипозной ткани и из костного мозга, показали сходную экспрессию поверхностных белков, а МСК из адипоз-

ной ткани показали более высокую пролиферативную активность с более высокой экспрессией фактора роста сосудистых эндотелиальных клеток, фактора роста гепатоцитов и BDNF, чем МСК из костного мозга. После трансплантации крысам и те, и другие клетки мигрировали в поврежденный спинной мозг без дифференцировки на глиальные или нейронные элементы. Трансплантация стволовых клеток из адипозной ткани заметно влияла на микроокружение в зоне повреждения спинного мозга и характеризовалась значительным увеличением количества нейротрофического фактора BDNF. Отмечалось также усиление ангиогенеза, повышенное число сохранившихся аксонов, уменьшение числа ED1-позитивных макрофагов и замедление образования полости. Эти изменения сопровождались улучшением функционального восстановления [47]. Наконец, американские ученые выявили, что в отличие от МСК из адипозной ткани, в клетках из костного мозга было обнаружено раннее начало репликативного старения при пролиферации *in vitro* [48].

В результате ряда экспериментов выяснилось еще одно преимущество стволовых клеток из адипозной ткани. Трансплантированные МСК в очаг повреждения спинного мозга подвергаются воздействию не только цитотоксических веществ, возникающих из-за повреждения тканей, но и недостатка кислорода и питательных веществ, вызванных плохим снабжением кровеносными сосудами. Недавние исследования показали, что МСК из адипозной ткани могут иметь повышенную толерантность к гипоксии и более низкие уровни питания по сравнению с МСК из костного мозга. Известно, что живые клетки нуждаются в кислороде для выживания, но уровень кислорода может влиять на жизнеспособность и пролиферацию. Коллектив японских ученых [49] сообщил, что гипоксия усиливает скорость пролиферации МСК из адипозной ткани. Они показали, что экспрессия генов Oct3/4 и Nanog, в качестве маркеров стволовых клеток, и секретируемых факторов роста была увеличена в состоянии гипоксии. Кроме того, гипоксический стресс также стимулировал в этих клетках образование ангиогенных цитокинов, таких как VEGF53 [50, 51]. В другом исследовании японские ученые [52] показали, что МСК из адипозной ткани более устойчивы к недостатку питательных веществ. Так, они лучше пролиферируют в культуральной среде, содержащей мало (2%) сыворотки, чем МСК из костного мозга в таких же условиях. Также авторами было показано, что стволовые клетки из адипозной ткани секретируют более

высокие уровни ростовых факторов HGF и VEGF, по сравнению с МСК из костного мозга. Ну и наконец, основной вопрос, важный в рамках нашего обзора, существуют ли различия в дифференцировке МСК разного происхождения в направлении нейронных линий? Эксперименты китайских исследователей [53] прояснили ситуацию. Они установили, что доля недифференцированных стволовых клеток из адипозной ткани, экспрессирующих белок нестин, значительно больше, чем доля таких же клеток из костного мозга. Более того, после нейронной дифференцировки уровень экспрессии нейронных и глиальных маркеров в МСК из адипозной ткани значительно выше, чем уровень экспрессии соответствующих маркеров в стволовых клетках из костного мозга. Уровни микро-РНК и факторов роста NGF и BDNF, экспрессированные в адипозных МСК, значительно выше, чем аналогичные показатели в МСК из костного мозга на разных стадиях до и после нейроэктодермальной дифференцировки. Тот факт, что жировой ткани в организме больше и она более доступна, чем костный мозг, свидетельствует о том, что мезенхимальные стволовые клетки из жировой ткани более предпочтительны, чем МСК из костного мозга в практическом клиническом использовании.

В нынешнем своем обзоре мы кратко представили преимущества и недостатки стволовых клеток разного происхождения. Хотя стволовые клетки были описаны достаточно давно, лишь пару десятилетий назад они привлекли к себе пристальное внимание, и их вновь открытые свойства дали надежду на лечение неврологических заболеваний, в том числе травмы спинного мозга. После открытия возможностей получать плюрипотентные и мультипотентные стволовые клетки из взрослого организма, а также разработки способов направленной дифференцировки таких клеток, появилось большое количество исследований в области клеточной терапии травм спинного мозга. Исследования проводились не только на животных моделях, но и на пациентах травматологических клиник. И у экспериментальных животных, и у людей трансплантация стволовых клеток улучшала моторную и сенсорную функции. Множественными исследованиями было показано, что индуцированные плюрипотентные клетки, при всех своих достоинствах, уступают мезенхимальным стволовым клеткам при лечении травм спинного мозга. Ряд авторов показали, что трансплантированные MSC могут не только модифицировать микроокружение в нервной ткани после повреждения, но и частично восстанавливать ее функции.

Для улучшения результатов такого лечения необходимо изучить механизмы действия и поведение стволовых клеток в патологической среде после трансплантации, чтобы определить наилучшие временные рамки, наиболее эффективные пути и способы доставки стволовых клеток после травмы. Эти и многие другие вопросы по-прежнему требуют ответа до того, как MSC или другие типы клеток могут быть переведены в рутинную клиническую практику.

Список литературы

1. Корель А.В., Кузнецов С.Б. Направленное перепрограммирование соматических клеток: преимущества и недостатки индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (Обзор литературы) // Сибирский Научный Медицинский Журнал. 2018. Т. 38. № 4. С. 21–29.
2. McDonald J.W., Liu X.Z., Qu Y., Liu S., Mickey S.K., Turetsky D., Gottlieb D. I., Choi D.W. Transplanted embryonic stem cells survive, differentiate and promote recovery in injured rat spinal cord. *Nat. Med.* 1999. no. 5. P. 1410–1412.
3. Takahashi K., Yamanaka S. Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell.* vol. 2006. 126. no. 4. P. 663–676.
4. Nori S, Tsuji O, Okada Y, Toyama Y, Okano H, Nakamura M. Therapeutic potential of induced pluripotent stem cells for spinal cord injury. *Brain Nerve.* 2012, Jan; 64(1):17-27.
5. López-Serrano C., Torres-Espín A., Hernández J., Alvarez-Palomo A.B., Requena J., Gasull X., Edel M.J., Navarro X. Effects of the Post-Spinal Cord Injury Microenvironment on the Differentiation Capacity of Human Neural Stem Cells Derived from Induced Pluripotent Stem Cells. *Cell Transplant.* 2016, Oct; 25(10):1833-1852. DOI: 10.3727/096368916X691312.
6. Lu P., G. Woodruff, Y. Wang et al., Long-distance axonal growth from human induced pluripotent stem cells after spinal cord injury. *Neuron.* 2014. vol. 83. no. 4. P. 789–796. DOI: 10.1016/j.neuron.2014.07.014.
7. Pomeschchik Y., Puttonen K.A., Kidin I., Ruponen M., Lehtonen S., Malm T., Akesson E., Hovatta O., Koistinaho J. Transplanted Human Induced Pluripotent Stem Cell-Derived Neural Progenitor Cells Do Not Promote Functional Recovery of Pharmacologically Immunosuppressed Mice with Contusion Spinal Cord Injury. *Cell Transplant.* 2015. 24(9): 1799-812. DOI: 10.3727/096368914X684079. Epub 2014 Sep 8.
8. Ozaki M., Iwanami A., Nagoshi N. et al. Evaluation of the immunogenicity of human iPSC cell-derived neural stem/progenitor cells in vitro. *Stem Cell Research.* 2017. vol. 19. P. 128–138.
9. Nishimura S., Yasuda A., Iwai H. et al. Time-dependent changes in the microenvironment of injured spinal cord affects the therapeutic potential of neural stem cell transplantation for spinal cord injury. *Molecular Brain.* 2013. vol. 6. no. 1. P. 3. DOI: 10.1186/1756-6606-6-3.
10. Nutt S.E., Chang E.A., Suhr S.T. et al. Caudalized human iPSC-derived neural progenitor cells produce neurons and glia but fail to restore function in an early chronic spinal cord injury model. *Experimental Neurology.* 2013. vol. 248. P. 491–503.
11. Tsuji O., Miura K., Okada Y. et al. Therapeutic potential of appropriately evaluated safe-induced pluripotent stem cells for spinal cord injury. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2010. vol. 107. no. 28. P. 12704–12709.
12. Okubo T., Iwanami A., Kohyama J. et al. Pretreatment with a γ -secretase inhibitor prevents tumor-like overgrowth in human iPSC-derived transplants for spinal cord injury. *Stem Cell Reports.* 2016. vol. 7. no. 4. P. 649–663. DOI: 10.1016/j.stemcr.2016.08.015.
13. Iida T., Iwanami A., Sanosaka T. et al. Whole-genome DNA methylation analyses revealed epigenetic instability in tumorigenic human iPSC cell-derived neural stem/progenitor cells. *Stem Cells.* 2017. vol. 35. no. 5. P. 1316–1327.
14. Okano H. Regeneration of the central nervous system using iPSC cell-technologies. *Rinsho Shinkeigaku.* 2009 Nov; 49(11):825-6.
15. Chuan Qina, Yun Guo, De-Gang Yang, Ming-Liang Yang, Liang-Jie Du, Jian-Jun Li. Induced Pluripotent Stem Cell Transplantation Improves Locomotor Recovery in Rat Models of Spinal Cord Injury: a Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Cell Physiol Biochem.* 2018; 47:1835-1852. DOI: 10.1159/000491064.
16. Iwai Hiroki, Hiroko Shimada, Soraya Nishimura, Yoshiomi Kobayashi, Go Itakura, Keiko Hori, Keigo Hikishima, Hayao Ebise, Naoko Negishi, Shinsuke Shibata, Sonoko Sabu, Yoshiaki Toyama, Masaya Nakamura, Hideyuki Okano. Allogeneic Neural Stem/Progenitor Cells Derived From Embryonic Stem Cells Promote Functional Recovery After Transplantation Into Injured Spinal Cord of Nonhuman Primates. *Stem Cells Translational Medicine.* 2015; 4:708–719.
17. Nemati S.N., Jabbari R., Hajinasrollah M., ZareMehrdi, H. Azizi N., Hemmesi K., et al. Transplantation of adult monkey neural stem cells into a contusion spinal cord injury model in rhesus macaque monkeys. *Cell J.* 2014; 16:117-130.
18. Zhang Chao, Karen A. Egiazyryan, Andrei P. Ratyev, Victor M. Feniksov, Haixiao Wu, Vladimir P. Chekhonin. Progress in the study of stem cell transplantation for the repair of spinal cord injury. *Russian Open Medical Journal.* 2017, vol. 6. Issue 3. Article CID e0303 DOI: 10.15275/rusomj.2017.0303.
19. Liu Ying, Yiyang Zheng, Shenglan Li, Haipeng Xue, Karl Schmitt, Georgene W. Hergenroeder, Jiaqian Wu, Yuanyuan Zhang, Dong H. Kim, Qilin Cao. Human neural progenitors derived from integration-free iPSCs for SCI therapy. *Stem Cell Res.* 2017. March; 19: 55–64. DOI: 10.1016/j.scr.2017.01.004.
20. Nagoshi N., Okano H. Applications of induced pluripotent stem cell technologies in spinal cord injury. *J. Neurochem.* 2017 Jun; 141(6):848-860. DOI: 10.1111/jnc.13986.
21. Silver J., Miller J.H. Regeneration beyond the glial scar. *Nat. Rev. Neurosci.* 2004. 5. 146–156.
22. Takeda A., Okada S., Funakoshi K. Chondroitin sulfates do not impede axonal regeneration in goldfish spinal cord. *Brain Res.* 2017. Oct 15. 1673:23-29. DOI: 10.1016/j.brainres.2017.08.004.
23. Bradbury E.J., Carter L.M. Manipulating the glial scar: chondroitinase ABC as a therapy for spinal cord injury. *Brain Res Bull.* 2011, Mar 10;84(4-5):306-16. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2010.06.015.
24. Friedenstein A.J., Chailakhjan R.K., Lalykina K.S. The development of fibroblast colonies in monolayer cultures of guinea-pig bone marrow and spleen cells. *Cell Proliferation.* 1970. 3(4):393–403.
25. Laroni A., Novi G., Kerlero de Rosbo N., Uccelli A. Towards clinical application of mesenchymal stem cells for treatment of neurological diseases of the central nervous system. *J Neuroimmune Pharmacol.* 2013. Dec; 8(5):1062-76. DOI: 10.1007/s11481-013-9456-6.
26. Bhanot Y., Rao S., Ghosh D., Balaraju S., Radhika C.R., Satish Kumar K.V., Autologous mesenchymal stem cells in chronic spinal cord injury. *Br. J. Neurosurg.* 2011. 25. 516–522
27. Sun Kyu Oh, Sang Ryong Jeon, Current Concept of Stem Cell Therapy for Spinal Cord Injury: A Review. *Korean J. Neurotrauma.* 2016. Oct; 12(2): 40–46. DOI: 10.13004/kjnt.2016.12.2.40.
28. Zadroga A., Jezierska-Woźniak K., Czarzasta J., Barczewska M., Wojtkiewicz J., Maksymowicz W. Therapeutic Potential of Olfactory Ensheathing Cells and Mesenchymal Stem Cells in Spinal Cord Injuries. *Stem Cells Int.* 2017; 2017:3978595. DOI: 10.1155/2017/3978595. Epub 2017 Feb 16.
29. Karamouzian S., Nematollahi-Mahani S.N., Nakhae N., Eskandary H. Clinical safety and primary efficacy of bone marrow mesenchymal cell transplantation in subacute spinal cord injured patients. *Clin Neurol Neurosurg.* 2012. Sep; 114(7):935-9. DOI: 10.1016/j.clineuro.2012.02.003.

30. Hofstetter C.P., Schwarz E.J., Hess D., Widenfalk J., El Manira A., Prockop D.J., Olson L. Marrow stromal cells form guiding strands in the injured spinal cord and promote recovery. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2002. Feb 19; 99(4):2199-204.
31. Kadoya K., Lu P., Nguyen K., Lee-Kubli C., Kumamaru H., Yao L., Knackert J., Poplawski G., Dulin J.N., Strobl H., Takashima Y., Biane J., Conner J., Zhang S.C., Tuszynski M.H. Spinal cord reconstitution with homologous neural grafts enables robust corticospinal regeneration. *Nat. Med.* 2016. 22. 479–487. DOI: 10.1038/nm.4066.
32. Adler A.F., Lee-Kubli C., Kumamaru H., Kadoya K., Tuszynski M.H. Comprehensive Monosynaptic Rabies Virus Mapping of Host Connectivity with Neural Progenitor Grafts after Spinal Cord Injury. *Stem Cell Reports*. 2017. Jun 6; 8(6): 1525–1533. DOI: 10.1016/j.stemcr.2017.04.004.
33. Li Y., Chopp M. Marrow stromal cell transplantation in stroke and traumatic brain injury. *Neurosci Lett*. 2009. Jun 12; 456(3): 120–123. DOI: 10.1016/j.neulet.2008.03.096.
34. Papazian I., Kyrargyri V., Evangelidou M., Voulgari-Kokota A., Probert L. Mesenchymal Stem Cell Protection of Neurons against Glutamate Excitotoxicity Involves Reduction of NMDA-Triggered Calcium Responses and Surface GluR1, and Is Partly Mediated by TNF. *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Mar. 19(3): 651. DOI: 10.3390/ijms19030651.
35. Sasaki M., Honmou O., Akiyama Y., Uede T., Hashi K., Kocsis J.D. Transplantation of an Acutely Isolated Bone Marrow Fraction Repairs Demyelinated Adult Rat Spinal Cord Axons. *Glia*. 2001. Jul; 35(1): 26–34.
36. Inoue M., Honmou O., Oka S., Houkin K., Hashi K., Kocsis J.D. Comparative analysis of remyelinating potential of focal and intravenous administration of autologous bone marrow cells into the rat demyelinated spinal cord. *Glia*. 2003. V. 44(2). P.111-118. DOI: 10.1002/glia.10285.
37. Jung D.I., Ha J., Kang B.T., Kim J.W., Quan F.S., Lee J.H., Woo E.J., Park H.M. A comparison of autologous and allogenic bone marrow-derived mesenchymal stem cell transplantation in canine spinal cord injury. *J. Neurol. Sci.* 2009. Oct 15; 285(1-2):67-77. DOI: 10.1016/j.jns.2009.05.027. Epub 2009 Jun 24.
38. Fernandes M., Valente S.G., Sabongi R.G., Gomes dos Santos J.B., Leite V.M., Ulrich H., Nery A.A., José da Silva Fernandes M. Bone marrow-derived mesenchymal stem cells versus adipose-derived mesenchymal stem cells for peripheral nerve regeneration. *Neural Regen Res*. 2018. Jan; 13(1): 100–104. DOI: 10.4103/1673-5374.224378.
39. Hermann A., Liebau S., Gastl R., Fickert S., Habisch H.J., Fiedler J. et al. Comparative analysis of neuroectodermal differentiation capacity of human bone marrow stromal cells using various conversion protocols. *J. Neurosci Res*. 2006. 83: 1502–1514.
40. Toyserkani N.M., Christensen M.L., Sheikh S.P., Sørensen J.A. Adipose-Derived Stem Cells. New Treatment for Wound Healing? *Annals of Plastic Surgery*. 2015. Vol. 75. Number 1. July. p.117-123.
41. Mizuno H. Adipose-derived stem cells for regenerative medicine in the field of plastic and reconstructive surgery. *Journal of Oral Biosciences*. 2013. Vol. 55. Issue 3. p.132–136. DOI: 10.1016/j.job.2013.04.005.
42. Zhou Z., Chen Y., Zhang H., Min S., Yu B., He B., Jin A. Comparison of mesenchymal stromal cells from human bone marrow and adipose tissue for the treatment of spinal cord injury. *Cytherapy*. 2013. Apr. 15(4):434-48. DOI: 10.1016/j.jcyt.2012.11.015. Epub 2013 Feb 1.
43. Tondreau T., Lagneaux L., Dejeneffe M., Massy M., Mortier C., Delforge A., Bron D. Bone marrow-derived mesenchymal stem cells already express specific neural proteins before any differentiation. *Differentiation*. 2004. Sep; 72(7):319-26.
44. Blondheim N.R., Levy Y.S., Ben-Zur T., Burshtein A., Cherlow T., Kan I., Barzilai R., Bahat-Stromza M., Barhum Y., Bulvik S., Melamed E., Offen D. Human mesenchymal stem cells express neural genes, suggesting a neural predisposition. *Stem Cells Dev*. 2006. 15, p. 141-164.
45. Arboleda D., Forostyak S., Jendelova P., Marekova D., Amemori T., Pivonkova H., Masinova K., Sykova E. Transplantation of predifferentiated adipose-derived stromal cells for the treatment of spinal cord injury. *Cell. Mol. Neurobiol.* 2011. Oct; 31(7):1113-22. DOI: 10.1007/s10571-011-9712-3. Epub 2011 Jun 1.
46. Lattanzi W., Geloso M.C., Saulnier N., Giannetti S., Puglisi M.A., Corvino V., Gasbarrini A., Michetti F. Neurotrophic features of human adipose tissue-derived stromal cells: in vitro and in vivo studies. *J. Biomed Biotechnol.* 2011. 2011:468705. DOI: 10.1155/2011/468705. Epub 2011 Dec 15.
47. McDaniel J.S., Antebi B., Pilia M., Hurtgen B. J., Belenkiy S., Necsoiu C., Cancio L. C., Rathbone C. R., Batchinsky A.I. Quantitative Assessment of Optimal Bone Marrow Site for the Isolation of Porcine Mesenchymal Stem Cells. *Stem Cells Int*. 2017. 2017: 1836960. DOI: 10.1155/2017/1836960.
48. Vidal M.A., Walker N.J., Napoli E., Borjesson D.L. Evaluation of senescence in mesenchymal stem cells isolated from equine bone marrow, adipose tissue, and umbilical cord tissue. *Stem Cells Dev*. 2012. 21: 273–283.
49. Yamamoto Y., Fujita M., Tanaka Y., Kojima I., Kanatani Y., Ishihara M., Tachibana S. Low oxygen tension enhances proliferation and maintains stemness of adipose tissue-derived stromal cells. *Biores Open Access*. 2013. 2(3):199–205.
50. Rasmussen J.G., Frobert O., Pilgaard L., Kastrup J., Simonsen U., Zachar V., Fink T. Prolonged hypoxic culture and trypsinization increase the pro-angiogenic potential of human adipose tissue-derived stem cells. *Cytherapy*. 2011. Mar; 13(3):318-28. DOI: 10.3109/14653249.2010.506505.
51. Hsiao S.T., Lokmic Z., Peshavariya H., Abberton K.M., Dusting G.J., Lim S.Y., Dilley R.J. Hypoxic Conditioning Enhances the Angiogenic Paracrine Activity of Human Adipose-Derived Stem Cells. *Stem cells and development*. 2013. V. 22(10). p.1614-23. DOI: 10.1089/scd.2012.0602.
52. Katsuno T., Ozaki T., Saka Y., Furuhashi K., Kim H., Yasuda K., Yamamoto T., Sato W., Tsuboi N., Mizuno M., Ito Y., Imai E., Matsuo S., Maruyama S. Low serum cultured adipose tissue-derived stromal cells ameliorate acute kidney injury in rats. *Cell Transplant*. 2013. 22(2):287–297.
53. Zhang H.T., Liu Z.L., Yao X.Q., Yang Z.J., Xu R.X. Neural differentiation ability of mesenchymal stromal cells from bone marrow and adipose tissue: a comparative study. *Cytherapy*. 2012. Sep. 14/10. p. 1203–1214. DOI: 10.3109/14653249.2012.711470.

УДК 57.083.134:57.086.83

ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Трухан И.С.

*ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», Иркутск,
e-mail: PREDELA@yandex.ru*

В настоящее время в науке и медицине огромное значение приобрели методы, основанные на технологии культивирования клеток животных, они нашли применение в фундаментальных исследованиях, при оценке потенциальных лекарственных средств, в производстве вакцин и биофармацевтических препаратов, а также в регенеративной медицине. Ключевым фактором, определяющим возможность поддержания стабильного роста и размножения клеток, является выбор соответствующей питательной среды. В связи с этим в статье рассмотрена современная классификация сред для культивирования клеток млекопитающих, их состав, включая основные компоненты, необходимые для поддержания жизнеспособности клеток (буферная система, углеводы, аминокислоты, витамины и неорганические соли), и дополнительные элементы, наиболее часто применяемые для поддержания активной пролиферации и предотвращения контаминации культуры (сыворотка и антибиотики). При этом в статье уделено особое внимание составу и свойствам сыворотки, выполняющей разнообразные функции и обеспечивающей клетки множеством высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений, ее роли при выращивании клеток в искусственных условиях, а также возможности культивирования клеток в бессывороточных условиях. Так как коммерческое разнообразие доступных сред (MEM, DMEM, RPMI-1640, IMDM, F-10 и F-12 Хэма), а также сывороток, факторов роста, гормонов и других активных соединений достаточно велико, это позволяет обеспечивать стабильное поддержание множества типов клеток или клеточных линий в культуре.

Ключевые слова: культура клеток млекопитающих, питательная среда, сыворотка, бессывороточная среда, DMEM, RPMI-1640, среда F-12 Хэма

THE CULTURE MEDIUM AS A KEY FACTOR OF THE MAMMALIAN CELL CULTIVATION

Trukhan I.S.

Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, Irkutsk, e-mail: PREDELA@yandex.ru

Currently, methods based on the technology of animal cells cultivation have taken on great value in science and medicine, they are used in fundamental research, in assessment of potential drugs, in the production of vaccines and biopharmaceuticals, as well as in regenerative medicine. The key factor determining the possibility of maintaining stable cell growth and proliferation is the choice of the appropriate culture medium. Thereby the article considers current classification of mammalian cells cultivation media, their composition, including the main components necessary to maintain the cell viability (buffer system, carbohydrates, amino acids, vitamins and inorganic salts), and additional elements that are most often applied to maintain active proliferation and prevent culture contamination (serum and antibiotics). In addition, the article pays particular attention to the composition and properties of serum that performs great number of functions and provides cells with a variety of high-molecular and low-molecular compounds; it describes role of the serum in cell growth in artificial conditions, as well as the possibility of cell cultivation in the serum-free environment. Since the commercial diversity of available media (MEM, DMEM, RPMI-1640, IMDM, Ham's F-10 and F-12) as well as serums, growth factors, hormones, and other active compounds is sufficiently large it allows to provide stable maintenance of many cell types or cell lines in culture.

Keywords: mammalian cell culture, culture medium, serum, serum-free medium, DMEM, RPMI-1640, Ham's F12 medium

В настоящее время технология культивирования клеток млекопитающих стала одним из основных направлений, без которого невозможен научный прогресс в биологии, медицине и фармакологии. Изучение культур клеток животных и человека позволяют исследовать механизмы клеточного взаимодействия, дифференцировки и дедифференцировки клеток, трансдукцию сигналов, а также реакцию клеток на внешнее воздействие и многое другое. Кроме того, клеточные и тканевые культуры используют в качестве модельных систем для изучения механизмов патогенеза при различных заболеваниях, для оценки эффективности и токсичности

новых лекарственных средств, они применяются для производства вакцин и биофармацевтических препаратов, задействованы во вспомогательных репродуктивных технологиях. С каждым годом во всем мире растет популярность нового направления, регенеративной медицины, основанной на технологии культивирования клеток человека [1]. Независимо от назначения клеточной культуры, для поддержания стабильного роста и размножения клеток ключевым фактором является выбор соответствующей питательной среды, способной обеспечить клетки элементами питания, метаболитами, необходимыми для био-

синтеза, регуляторными факторами, веществами, способными выполнять защитные функции. Кроме того, культуральная среда непосредственно влияет на результаты исследований, скорость производства биофармацевтических препаратов или соответствие полученной культуры медицинским требованиям. Таким образом, целью данной статьи является обзор наиболее часто применяемых питательных сред, их классификации, состава и необходимости внесения дополнительных компонентов для создания оптимальных условий при культивировании клеток млекопитающих.

Классификация питательных сред

Со момента появления первых сообщений, посвященных культивированию клеток, тканей или органов вне живого организма, исследователей занимал вопрос о составе питательной среды, достаточном для поддержания жизнеспособности клеток и возможности их пролиферации [1–3]. И несмотря на огромный выбор коммерческих сред и добавок для выращивания клеток в искусственных условиях, проблема выбора питательной среды до сих пор не утратила актуальности [4–6].

Классически питательные среды, используемые для культивирования клеток животных, подразделяют на естественные (или природные) и искусственные (или синтетические). *К естественным питательным средам* относятся биологические жидкости (плазма, сыворотка, лимфа, сыворотка пуповинной крови человека, амниотическая жидкость), тканевые экстракты (экстракт печени, селезенки, костный мозг, экстракты бычьего и куриного эмбрионов), коагуляты или сгустки плазмы крови. *Искусственные среды* подразделяются на сбалансированные солевые растворы, образующие основу для комплексных сред (фосфатно-солевой буфер – PBS, фосфатный буфер Дульбекко – DPBS, раствор Хэнкса – HBSS, раствор Эрла – EBSS), основные или минимальные среды (MEM, DMEM) и комплексные среды (RPMI-1640, IMDM, F-10 и F-12 Хэма) [1, 6].

Естественные среды очень удобны, эффективны и подходят для культивирования широкого спектра культур клеток животных. Однако основными недостатками таких сред являются низкая воспроизводимость из-за варьирования компонентов в разных партиях и отсутствие информации об их точном составе. Искусственные или синтетические среды получают путем объединения питательных веществ (как органических, так и неорганических), витаминов, солей, сывороточных белков, углеводов, кофакторов. В настоящее время разработаны

различные искусственные среды, обеспечивающие выполнение одной или нескольких задач, таких как поддержание жизнеспособности, длительное культивирование, неограниченный рост культуры или специализированные функции. Клетки животных можно культивировать, используя исключительно естественную питательную среду или искусственную среду с добавлением натуральных компонентов [1, 6].

В зависимости от состава искусственные среды также классифицируют на среды, содержащие сыворотку, бессывороточные среды, безбелковые среды и химически определенные среды.

Бессывороточные среды (serum-free media) были разработаны для устранения недостатков, связанных с влиянием сыворотки на конечный результат эксперимента, например при интерпретации в иммунологических исследованиях [7]. Как правило, они предназначены для культур, состоящих из клеток одного типа (например, Knockout Serum Replacement и Knockout DMEM от Thermo Fisher Scientific для стволовых клеток) и включают определенные количества очищенных факторов роста, протеинов и липопротеинов, источником которых традиционно является сыворотка [8]. Такие среды относятся к «определенным культуральным средам», так как их компоненты известны. В случае, когда бессывороточные среды дополняют фракциями общего белка (бычьего сывороточного альбумина, α - или β -глобулина), они относятся к «химически неопределенным средам» [1, 5].

Безбелковые среды (protein-free media) не содержат высокомолекулярные протеины, но могут включать пептидные фракции (гидролизаты белков) [1]. По сравнению со средами, дополненными сывороткой, применение безбелковых сред способствует активному росту клеток и экспрессии белка, а также облегчает последующую очистку любого экспрессированного продукта, например моноклональных антител [5, 9]. Примерами безбелковых сред могут служить MEM и RPMI-1640, которые при необходимости могут быть дополнены белковыми компонентами.

В состав *химически определенных сред* (chemically defined media) не входят белковые фракции, гидролизаты или экстракты тканей, такие среды включает только химически чистые, не содержащие примеси неорганические и органические компоненты. В их состав могут входить белковые добавки, такие как факторы роста, продуцируемые в бактериях или дрожжах генноинженерным способом с последующим добавлением витаминов, холестерина,

специфических аминокислот и жирных кислот [1, 5, 6].

Некоторые авторы также выделяют среды, не содержащие чужеродных компонентов (xeno-free media или animal-derived component-free media), в состав которых входят только соединения человеческого, но не животного происхождения (например, сывороточный альбумин человека) [10]. При этом среды, не содержащие компоненты животного происхождения, могут включать бактериальные, дрожжевые гидролизаты или растительные экстракты [1, 5].

Компоненты питательной среды

Выбор питательной среды непосредственно влияет на возможность длительного поддержания клеток в культуре, способность клеток активно пролиферировать, экспрессировать целевой продукт или выполнять какую-либо функцию. В связи с этим при планировании эксперимента, а также при подборе питательной среды и условий культивирования необходимо учитывать особенности и функции компонентов, составляющих ее основу, чем и определяется неослабевающий интерес исследователей к потребностям клеток в питательных элементах и к возможности их восполнения культуральной средой [11–13].

Основные компоненты

Состав питательных сред варьирует в зависимости от типа клеток, для культивирования которых среда была разработана, от функционального назначения среды и от представлений ее составителя о потребностях клеток, выращиваемых в искусственных условиях. Однако обязательные компоненты, обеспечивающие жизнеспособность клеток вне живого организма, присутствуют со всех составах коммерческих сред.

Буферная система. Поддержание оптимального уровня pH является обязательным условием культивирования клеток *in vitro*. Наиболее распространенными являются два типа буферных систем – на основе бикарбоната натрия и на основе HEPES.

Бикарбонатная буферная система обеспечивает постоянный уровень pH равновесным соотношением между бикарбонатом натрия (NaHCO_3) в культуральной среде и CO_2 в инкубаторе, при этом она является недорогой и нетоксичной для клеток. В результате повышения концентрации CO_2 в газовой фазе увеличивается количество CO_2 , растворенного в питательной среде, что ведет к росту концентрации H_2CO_3 и понижению pH. Напротив, если концентрация CO_2 газовой фазы снижена, то pH повышается за счет обратной реакции [4, 14]. Как

правило, теоретически оптимальной концентрацией CO_2 в инкубаторе считается 5–6%, однако фактически она должна регулироваться в зависимости от концентрации NaHCO_3 в культуральной среде. Например, уровень CO_2 5% адекватен при содержании в среде 26 ммоль/л NaHCO_3 (среда MEM), 2% CO_2 соответствует 14 ммоль/л NaHCO_3 (среда F-12 Хэма), 10% CO_2 – 44 ммоль/л NaHCO_3 (среда DMEM) [11]. Эти величины являются теоретическими значениями, вычисленными при помощи уравнения Хендерсона – Хассельбаха

$$(\text{pH} = \text{pKa} + \log[\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2]_{\text{(жидкой фазы)}})$$

где pKa – отрицательный логарифм константы кислотной диссоциации), на практике рекомендуется проверять pH питательной среды после достижения равновесия, а затем корректировать концентрацию CO_2 [1, 15].

HEPES или (4-(2-гидроксиэтил)-1-пиперазинэтансульфоновая кислота) обладает большей буферной емкостью, чем бикарбонатная система, и обеспечивает стабильный уровень pH среды в диапазоне pH 7,2–7,4 даже в условиях культивирования клеток вне CO_2 инкубатора. Применение HEPES также целесообразно при поддержании культур с высокой плотностью клеток, когда pH быстро снижается вследствие накопления метаболитов, например лактата, и в случае использования бессывороточных сред, лишенных буферного воздействия сыворотки [6, 14]. В то же время буферная система на основе HEPES является более дорогостоящей и может оказывать негативное влияние на определенные типы клеток, такие как эпифизарные хондроциты куриных эмбрионов и эмбриональные стволовые клетки [16]. Также было показано, что HEPES повышает чувствительность среды к фототоксическим эффектам, индуцированным воздействием флуоресцентного света, усиливает генерацию цитотоксичных продуктов, в основном перекиси водорода [17]. Поэтому при использовании буферной системы, основанной на HEPES, следует тестировать воздействие буфера на культивируемые клетки.

Феноловый красный. Большинство предлагаемых коммерческих сред содержат феноловый красный в качестве индикатора pH, что позволяет непрерывно отслеживать уровень кислотности культуральной среды. При низком уровне pH феноловый красный становится желтым, тогда как при высоких уровнях pH он имеет пурпурную окраску, ярко-красный цвет среды соответствует pH 7,4, оптимальному для культивирования клеток животных [1, 11]. Однако добавление индикатора в среды имеет ряд недо-

статков: 1. Феноловый красный имитирует действие стероидных гормонов, например эстрогена, что оказывает влияние на пролиферацию некоторых клеток млекопитающих [18]. 2. Присутствие фенолового красного в ряде бессывороточных композиций нарушает калий-натриевый гомеостаз, однако этот эффект можно нейтрализовать, включив в состав среды сывороточный или бычий гормон гипофиза. 3. Феноловый красный может искажать результаты в исследованиях, основанных на проточной цитометрии. Поэтому при его добавлении в среду следует проверять, оказывает ли он какое-либо воздействие на культивируемые клетки и на эмпирические результаты, особенно при работе с чувствительными к эстрогену клетками, такими как клетки молочной железы [6, 18].

Неорганические соли в средах способствуют поддержанию осмотического баланса и помогают регулировать мембранный потенциал [6]. Основными ионами, входящими в состав культуральных сред являются Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} и HCO_3^- [12]. Кальций ($\sim 10^{-3}$ М) обеспечивает адгезию клеток к субстрату, и в средах, предназначенных для суспензионных культур, его концентрация снижена. Кроме того, он играет роль в сигнальной трансдукции, и концентрация этого иона является определяющей для размножения или дифференцировки клеток. Магний ($\sim 10^{-4}$ М) является ключевым ионом для поддержания активности ряда ферментов, он также влияет на стабильность мембраны. Натрий ($\sim 10^{-1}$ М), калий ($\sim 10^{-3}$ М) и хлорид ($\sim 10^{-1}$ М) ответственны за мембранный потенциал клеток, тогда как анионы фосфата ($\sim 10^{-3}$ М), сульфата ($\sim 10^{-6}$ М) и гидрокарбоната ($\sim 10^{-2}$ М) необходимы для синтеза внеклеточного матрикса и играют роль в регуляции внутриклеточного заряда [4, 14].

Углеводы в форме сахаров являются основным источником энергии для культивируемых клеток. Наиболее распространенным элементом питания в коммерческих средах является глюкоза [11], однако некоторые могут содержать галактозу, мальтозу или фруктозу [4, 6]. В зависимости от метаболической активности клеток и скорости их пролиферации для поддержания культур некоторых типов клеток требуется большее количество питательных веществ. Такие особенности культуры следует учитывать при выборе среды. Например, среда DMEM изначально содержала 5,6 ммоль/л глюкозы, но сейчас для клеток с активным метаболизмом доступен модифицированный вариант с повышенной концентрацией глюкозы, 25 ммоль/л. Однако применение этой среды

для культивирования активно пролиферирующих клеток может приводить к быстрому накоплению в среде таких метаболитов, как лактат (в искусственной среде клетки получают энергию преимущественно за счет гликолиза), что вызывает снижение pH раствора [11]. В данном случае рекомендуется более частая замена среды или использование буферной системы HEPES, обладающей большей буферной емкостью [1].

Аминокислоты входят в состав белков, что определяет их обязательное присутствие во всех средах; они необходимы для пролиферации клеток, поэтому их концентрация определяет максимальную плотность, которую культура может достичь [13, 14]. Так как клетки неспособны синтезировать незаменимые аминокислоты, они должны быть включены в состав питательной среды, в отличие от заменимых аминокислот, которые, как правило, не входят в состав основных сред (BME и MEM). Однако не все типы клеток способны синтезировать достаточное количество заменимых аминокислот в искусственных условиях. Поэтому внесение их в питательную среду (например, среда F-12 Хэма) может обеспечить благоприятные условия для роста и размножения клеток, а также позволяет снизить биосинтетическую нагрузку на клетки, способные синтезировать аминокислоты с необходимой для поддержания жизнедеятельности скоростью. Особое внимание следует уделять аминокислотам с разветвленной цепью, валину, лейцину и изолейцину. Все они относятся к группе незаменимых аминокислот, и для культивирования некоторых типов клеток, включая человеческие фибробласты и клетки мышины миеломы, необходима высокая их концентрация. Для данных культур рекомендуется своевременная замена среды или дополнительное внесение аминокислот в процессе культивирования [1].

Особенно важна для культивируемых клеток такая аминокислота, как *L-глутамин*. Он обеспечивает клетки азотом, необходимым для НАД, НАДФН, биосинтеза нуклеотидов и белков, а также служит дополнительным источником энергии для метаболизма (участвуя в цикле лимонной кислоты) [11, 13]. Потребность клеток в этой аминокислоте в 3–40 раз (в зависимости от типа клеток) превышает потребность в других аминокислотах; добавление глутамина необходимо при культивировании клеток, требовательных к повышенному содержанию питательных компонентов в среде [2]. Однако стоит учитывать, что глутамин стабилен приблизительно в течение 3 недель при 4°C [19] и легко разлагается в среде с об-

разованием аммиака, оказывающего токсическое воздействие на клетки [11, 20, 21], поэтому предпочтительным является добавление глутамин к среде непосредственно перед употреблением или использованием его производных, более устойчивых к деградации, таких как *L*-аланил-*L*-глутамин или глицил-*L*-глутамин [1, 4]. Эти дипептиды, известные также под коммерческим названием GLUTAMAX™, более термостабильны, чем глутамин, и могут выдерживать стерилизацию автоклавированием [22]. В клетках они расщепляются пептидазами, высвобождая глутамин и аланин или глицин, поэтому доступность глутамин зависит от пептидазной активности клеток, что определяет его невысокую внутриклеточную концентрацию и снижает риск образования токсичных количеств аммиака [5]. Таким образом, дипептиды могут заменять глутамин при длительном культивировании медленно растущих клеточных культур.

Витамины необходимы в качестве предшественников различных кофакторов для пролиферации и роста клеток. Витамины группы В наиболее часто вносят в культуральные среды для стимулирования роста [6], витамины С и Е обладают антиоксидантными свойствами [1]. По большей части водорастворимые витамины (В1, В2, В6, В12, С, фолиевая кислота) присутствуют в основных средах [12]; что касается жирорастворимых витаминов (А, D, Е, К), то их состав и количество часто ограничены, в достаточных концентрациях они присутствуют только в сложных средах, таких как среда 199, RPMI 1640 [4, 14]. Основным недостатком добавления витаминов в питательные среды является их нестабильность: витамины А, С, D и Е быстро деградируют при окислении кислородом воздуха, кроме того, витамин С окисляется в результате реакции с микроэлементами, что может сопровождаться генерацией активных форм кислорода. На скорость распада витаминов А, В1, В2, В12, С и К также влияет свет, деградации витаминов В1 и В5 способствует повышение температуры. Фолаты отличаются слабой растворимостью и в некоторых случаях могут быть частично удалены из среды во время стерилизации фильтрацией. Гидрококобаламин и аскорбиновая кислота взаимодействуют, способствуя взаимной деградации [1].

Дополнительные компоненты

Сыворотка животных представляет собой сложный комплекс высокомолекулярных и низкомолекулярных биомолекул с различными, физиологически сбалансированными стимулирующими и ингибиру-

ющими рост активностями [23]. Широкое распространение в технологии культивирования клеток получили сыворотки взрослых (лошадиная сыворотка), новорожденных животных (телячья сыворотка) или эмбриональные сыворотки (эмбриональная или фетальная бычья сыворотка – FBS). Последняя на сегодняшний день является наиболее популярной и повсеместно используемой сывороткой. Эмбриональная бычья сыворотка богата факторами роста и содержит низкий уровень γ -глобулинов (которые обладают ингибирующей рост клеток активностью), поэтому она подходит как для клонирования клеток, так и для поддержания пролиферации клеток, выращивание которых в искусственных условиях вызывает трудности. Телячья сыворотка, напротив, обладает слабой стимулирующей рост активностью, поэтому используется в основном для изучения контактного ингибирования или при исследовании клеточной дифференциации, когда факторы роста могут исказить результат [4, 7]. Еще одна причина, по которой сыворотка теленка может оказаться предпочтительнее эмбриональной сыворотки, это содержание липидов, которое повышается в сыворотке после рождения с течением времени, поэтому при культивировании клеток, требующих высокого содержания липидов, выбирают телячью сыворотку или сыворотку взрослого быка [1]. Лошадиная сыворотка, получаемая от взрослых лошадей, характеризуется сравнительно высокой однородностью разных партий. Она отличается низкой концентрацией полиаминоксидазы [24], участвующей в синтезе полиаминов, которые стимулируют пролиферацию клеток и медленно метаболизируются [1, 25].

Состав сыворотки животного происхождения очень сложен, многообразен и может варьировать в зависимости от лота, партии или фирмы – производителя продукта. К компонентам, идентифицированным в сыворотке, относятся следующие биомолекулы [1, 6, 23]:

– белки, среди которых выделяют сывороточные белки (альбумин, глобулины, в том числе иммуноглобулины), транспортные белки (трансферрин, транскортин, липопротейны $\alpha 1$ и $\beta 1$), ингибиторы протеаз ($\alpha 1$ -антитрипсин и $\alpha 2$ -макроглобулин), факторы прикрепления (фибронектин, ламинин) и факторы распространения, а также ферменты (лактатдегидрогеназа, щелочная фосфатаза, γ -глутамилтрансфераза и др.);

– небелковые соединения, содержащие азот (пурины и пиримидины, аминокислоты, полиамины, креатинин, мочевины);

– углеводы (глюкоза, галактоза, фруктоза, манноза, рибоза);

– гормоны (инсулин, глюкагон, соматотропин, кортикостероиды, тиреоидные и паратиреоидные гормоны, андрогены, эстроген, прогестерон, пролактин, фолликулостимулирующий гормон, вазопрессин, простагландины и др.);

– факторы роста и цитокины (эпидермальный фактор роста – EGF, фактор роста фибробластов – FGF, инсулиноподобный фактор роста – IGF, фактор роста нервной ткани – NGF, фактор роста тромбоцитов – PDGF, трансформирующий фактор роста – TGF, фактор роста эндотелиальных клеток – ECGF, интерлейкины, интерфероны);

– липиды и жирные кислоты, свободные или связанные с белками (холестерин, стероиды, этаноламин, холин, инозитол, фосфолипиды, триглицериды; пальмитат, стеарат, олеат, линолеат и другие);

– витамины (водорастворимые – B1, B2, B6, B12, C, фолиевая кислота, биотин, никотиновая кислота, пантотеновая кислота; жирорастворимые – A, D, E, K);

– микроэлементы (Fe, Zn, Cu, Cr, I, Co, Se, Mn, Mo и др.).

Многокомпонентный состав сыворотки определяет множественность выполняемых ею функций: она обеспечивает клетки элементами питания, стимулирует их рост и пролиферацию, способствует прикреплению к субстрату и распространению по всему объему культурального сосуда; повышая вязкость среды, сыворотка защищает культуру от механических повреждений при перемещении или пипетировании, протеазы обеспечивают защиту клеток от лизиса; кроме того, сыворотка увеличивает буферную емкость среды. Как правило, в питательные среды вносят от 2% до 15% сыворотки [6, 7, 9].

Однако, несмотря на значение сыворотки для поддержания жизнеспособности клеток в искусственных условиях, ее применение имеет ряд недостатков [23, 25, 26], таких как низкая воспроизводимость результатов вследствие варьирования состава разных лотов, возможность присутствия в сыворотке факторов, ингибирующих рост клеток, увеличение риска контаминации (например, вирусами). Также добавление сыворотки может влиять на производимый клетками продукт и препятствовать его дальнейшей очистке [9]. В случаях, когда применение сыворотки является нежелательным, исследователи могут использовать так называемые заменители сыворотки [8, 27]. Они включают экстракты сыворотки, экстракты тканей или гидролизаты [10], в том числе лизаты тромбоцитов факторы роста [28, 29],

гормоны, белки-переносчики (альбумин и трансферрин), липиды, металлы, витамины, полиамины и восстановители (2-меркаптоэтанол, α -тиоглицерин, восстановленный глутатион) [30, 31]. Количество комбинаций этих соединений практически бесконечно, при этом они, как правило, взаимодействуют друг с другом. Их подбор требует огромных усилий, времени и затрат, так как невозможно составить оптимальную среду, добавляя вещества случайным образом и в произвольных комбинациях. Коммерческие бессывороточные и безбелковые среды показывают хорошие результаты при культивировании клеток [32], однако их состав почти никогда не раскрывается и их нельзя отнести к «химически определенным».

Антибиотики в процессе культивирования клеток млекопитающих используются для сдерживания роста бактериальных и грибковых контаминантов, особенно в процессе получения первичных культур [33]. Наиболее распространенными антибиотиками являются: пенициллин (100 ед/мл; ингибирование синтеза клеточной стенки бактерий), стрептомицин (100 мкг/мл; влияние на синтез белка), гентамицин (50 мкг/мл; ингибирование синтеза белка) [4, 19]. Из антимикотиков чаще применяют амфотерицин В (2,5 мкг/мл; нарушение барьерной функции мембраны). Однако регулярное применение антибиотиков может привести к развитию резистентности у бактерий, а также препятствует обнаружению в культуре контаминантных микоплазм [19]. Кроме того, антибиотики могут влиять на метаболизм чувствительных клеток. В связи с этим общей рекомендацией является строгое соблюдение правил асептики и отказ от регулярного использования антибиотиков в рутинных процедурах культивирования клеток [4, 6, 14].

Выбор культуральной среды

Каждый вид питательной среды был разработан для определенного типа клеток, в соответствии с их происхождением (видом животного) и целью культивирования. Среда MEM, DMEM или F-12 Хэма, как правило, применяют для поддержания адгезионных клеточных культур, среду RPMI 1640 – для суспензионных культур. Еще одним значимым вопросом при выборе среды является вопрос о добавлении природных компонентов. Например, MEM (предложенная Иглоу) была разработана с учетом добавления сыворотки и потому содержит только минимально необходимые компоненты (неорганические соли, сахар, незаменимые аминокислоты и водорастворимые витамины), тогда как среда 199 и среда Хэма F-12, предназначенные для культивирования

клеток без сыворотки, имеют более сложный состав. Ниже приведены типы клеток и клеточных линий, для культивирования которых можно использовать наиболее распространенные питательные среды [1, 6]:

MEM (минимальная питательная среда Игла) содержит сбалансированный солевой раствор, заменимые аминокислоты и пируват натрия, подходит для культивирования эмбриональных фибробластов цыплят, клеток яичника китайского хомячка, эмбриональных нервных клеток, альвеолярных клеток, эндотелиальных, эпидермальных клеток, фибробластов, глиальных клеток, клеток глиомы, меланомы, опухолевых клеток человека;

DMEM (модифицированная Дульбекко среда Игла) отличается от *EMEM* более высокой концентрацией аминокислот (примерно в 2 раза) и витаминов (в 4 раза), а также содержит нитрат железа, пируват натрия и несколько дополнительных аминокислот. Данную среду первоначально использовали для культур эмбриональных стволовых клеток мыши, однако впоследствии ее применяли для широкого спектра животных клеток и клеточных линий: для эндотелиальных клеток, эмбриональных альвеолярных клеток, клеток цервикального эпителия, клеток желудочно-кишечного тракта, клеток щитовидной железы свиньи, клеток скелетных мышц, клеток Сертоли, фибробластов сирийского хомяка, клеток мышинной нейробластомы, клеточных линий на основе клеток, полученных от пациентов с раком яичников;

RPMI-1640 (среда, разработанная в Мемориальном институте Розуэлл Парка для лимфоцитов периферической крови) используется для культивирования Т-клеток и тимоцитов, стволовых гемопоэтических клеток, клеток печени крыс, мышинных гибридом, опухолевых клеток человека, линий клеток миелоидной лейкемии и лимфобластного лейкоза человека, клеток миеломы мыши, клеток лейкемии и эритролейкемии мыши.

Комплексные среды F-10 и F-12 Хэма первоначально были созданы для поддержания клонального роста клеток яичника китайского хомяка (СНО), при этом среда Хэма F-12, дополненная 25 мМ *NEPES*, обладает улучшенными буферными свойствами. Данные среды могут применяться для выращивания клеток пигментированной сетчатки куриного эмбриона, клеток костной, хрящевой и жировой тканей, эмбриональных клеток легких, клеток скелетных мышц.

IMDM (среда Дульбекко, модифицированная Исквум) является исключительно обогащенной синтетической средой, подхо-

дящей для быстро пролиферирующих культур клеток с высокой плотностью. Среда представляет собой модификацию *DMEM*, содержащую селен, дополнительные аминокислоты, витамины и неорганические соли, а также *NEPES* и пируват натрия. Среда была разработана для культивирования лимфоцитов и гибридом и может использоваться при культивировании клеток костного мозга, стволовых гематопоэтических клеток, линий клеток лимфобластного лейкоза человека.

Заключение

Выбор питательной среды определяет успех культивирования клеток, выбранных в качестве объекта исследования или модельной системы, возможность поддержания жизнеспособной культуры длительное время и способность клеток активно пролиферировать в искусственных условиях. В настоящее время коммерческое разнообразие доступных сред, готовых к употреблению или нуждающихся в незначительных дополнениях, а также сывороток, факторов роста, гормонов и других активных соединений достаточно велико и, при условии правильного выбора или эмпирического подбора наиболее целесообразных компонентов, позволяет обеспечивать стабильное поддержание множества типов клеток или клеточных линий в культуре.

Список литературы

1. Yao T., Asayama Y. Animal-cell culture media: History, characteristics, and current issues *Reprod Med Biol.* 2017. vol. 16. no 2. P. 99–117. DOI: 10.1002/rmb2.12024.
2. Eagle H. Nutrition needs of mammalian cells in tissue culture. *Science.* 1955, vol. 122. P. 501–514. DOI: 10.1126/science.122.3168.501.
3. Ham R.G., McKeegan W.L. Media and growth requirements. *Methods Enzymol.* 1979. vol. 58. P. 44–93. DOI: 10.1016/S0076-6879(79)58126-9.
4. Eisenblatter T., Psathaki K., Nitz T., Galla H., Wegener J. Cell culture media: selection and standardization. In: Lehr C.M., ed. *Cell Culture Models of Biological Barriers. In-Vitro Test Systems for Drug Absorption and Delivery.* London: Taylor & Francis, 2002. P. 20–40.
5. Van der Valk J., Brunner D., Smet K. De, Fex Svenningsen E., Honegger P., Knudsen L.E., Lindl T., Noraberg J., Price A., Scarino M.L., Gstraunthaler G. Optimization of chemically defined cell culture media – Replacing fetal bovine serum in mammalian in vitro methods. *Toxicology in Vitro.* 2010. vol. 24. P. 1053–1063. DOI: 10.1016/j.tiv.2010.03.016.
6. Meenakshi A. Cell culture media: a review. *Mater Methods.* 2013. vol. 3. P. 175–203. DOI: 10.13070/mm.en.3.175.
7. Van der Valk J., Bieback K., Buta C., Cochrane B., Dirks W.G., Fu J., Hickman J.J., Hohensee C., Kolar R., Liebsch M., Pistollato F., Schulz M., Thieme D., Weber T., Wiest J., Winkler S., Gstraunthaler G. Fetal bovine serum (FBS): Past – Present – Future. *Altex.* 2018. vol. 35. no. 1. P. 99–118. DOI: 10.14573/altex.1705101.
8. Zhang S., Liu Z., Su G., Wu H. Comparative analysis of KnockOut™ serum with fetal bovine serum for the in vitro long-term culture of human limbal epithelial cells. *J. Ophthalmol.* 2016. vol. 2016. 10 p. DOI: 10.1155/2016/7304812.

9. Butler M. Serum and protein free media. In: Al-Rubeai M. Animal cell culture. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. P. 223–236.
10. Cimino M., Gonçalves R.M., Barrias C.C., Martins M.C.L. Xeno-free strategies for safe human mesenchymal stem/stromal cell expansion: Supplements and coatings. *Stem Cells International*, 2017. vol. 2017. P. 56–68. DOI: 10.1155/2017/6597815.
11. Portner R. Characteristics of mammalian cells and requirements for cultivation. In: Eibl R., Eibl D., Portner R., Catapano G., Czermak P. Cell and tissue reaction engineering. – Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. P. 13–53. DOI: 10.1007/978-3-540-68182-3_2.
12. Rodríguez-Hernández C.O., Torres-García S.E., Olvera-Sandoval C., Ramírez-Castillo F.Y., Muro A.L., Avelar-Gonzalez F.J., Guerrero-Barrera A.L. Cell culture: history, development and prospects. *Int. J. Curr. Res. Aca. Rev.* 2014. vol. 2. no. 12. P. 188–200.
13. Oyeleye O.O., Ogundejí S.T., Ola S.I., Omitogun O.G. Basics of animal cell culture: Foundation for modern science. *Biotechnol. Mol. Biol. Rev.* 2016. vol. 11. no. 2. P. 6–16. DOI: 10.5897/BMBR2016.0261.
14. Фрешни Р.Я. Культура животных клеток. Практическое руководство. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. 691 с.
15. Jang J., Moon S.-J., Hong S.-H., Kim I.-H. Colorimetric pH measurement of animal cell culture media. *Biotechnol Lett.* 2010. vol. 32. P. 1599–1607. DOI: 10.1007/s10529-010-0341-6.
16. Poole C.A., Reilly H.C., Flint M.H. The adverse effects of HEPES, TES, and BES zwitterion buffers on the ultrastructure of cultured chick embryo epiphyseal chondrocytes. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 1982. vol. 18. P. 755–765. DOI: 10.1007/bf02796499.
17. Zigler J.S. Jr, Lepe-Zuniga J.L., Vistica B., Gery I. Analysis of the cytotoxic effects of light-exposed HEPES-containing culture medium. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 1985. vol. 21. P. 282–287. DOI: 10.1007/BF02620943.
18. Berthois Y., Katzenellenbogen J., Katzenellenbogen B. Phenol red in tissue culture media is a weak estrogen: implications concerning the study of estrogen-responsive cells in culture. *Proc. Natl. Acad. Sci USA.* 1986. vol. 83. P. 2496–500. DOI: 10.2307/27311.
19. Swain P., Nanda P.K., Nayak S.K., Mishra S.S. Basic techniques and limitations in establishing cell culture: A mini review. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 2014. vol. 2. P. 1–10. DOI: 10.14737/journal.aavs/2014/2.4s.1.10.
20. Pasieka A., Morgan J. Glutamine metabolism of normal and malignant cells cultivated in synthetic media. *Nature.* 1959. vol. 183. P. 1201–1202. DOI: 10.1038/1831201a0.
21. Schneider M., Marison I.W., von Stockar U. The importance of ammonia in mammalian cell culture. *Journal of Biotechnology.* 1996. vol. 46. no. 3. P. 161–185. DOI: 10.1016/0168-1656(95)00196-4.
22. Christie A., Butler M. Growth and metabolism of a murine hybridoma in cultures containing glutamine-based dipeptides. *GIBCO Focus.* 1994. vol. 16. no. 1. P. 9–13.
23. Brunner D., Frank J., Appl H., Schöffl H., Pfaller W., Gstraunthaler G. Serum-free cell culture: the serum-free media interactive online database. *Altex.* 2010. vol. 27. P. 53–62. DOI: 10.14573/altex.2010.1.53.
24. Freshney R.I. Defined media and supplements. In: Freshney R.I., ed. *Culture of Animal Cells.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2010. P. 99–114.
25. Versteegen R. Serum: What, when, and where? *BioProcessing.* 2016. vol. 15. P. 18–21. DOI: 10.12665/J151.Versteegen.
26. Karnieli O., Friedner O.M., Allickson J.G., Zhang N., Jung S., Fiorentini D., Abraham E., Eaker S.S., Yong T.K., Chan A., Griffiths S., When A.K., Oh S., Karnieli O. A consensus introduction to serum replacements and serum-free media for cellular therapies. *Cytotherapy.* 2017. vol. 19. no. 2. P. 155–169. DOI: 10.1016/j.jcyt.2016.11.011.
27. Fang C.-Y., Wu C.-C., Fang C.-L., Chen W.-Y., Chen C.-L. Long-term growth comparison studies of FBS and FBS alternatives in six head and neck cell lines. *PLOS ONE.* 2017. vol. 12. no. 6. P. 1–27. DOI: 10.1371/journal.pone.0178960.
28. Mojica-Henshaw M. P., Jacobson P., Morris J., Kelley L., Piercel J., Boyer M., Reems J.-A. Serum-converted platelet lysate can substitute for fetal bovine serum in human mesenchymal stromal cell cultures. *Cytotherapy.* 2013. vol. 15. P. 1458–1468. DOI: 10.1016/j.jcyt.2013.06.014.
29. Hemedá H., Giebel B., Wagner W. Evaluation of human platelet lysate versus fetal bovine serum for culture of mesenchymal stromal cells. *Cytotherapy.* 2014. vol. 16. P. 170–180. DOI: 10.1016/j.jcyt.2013.11.004.
30. Rauch C., Feifel E., Amann E.M., Spötl H.P., Schennach H., Pfaller W., Gstraunthaler G. Alternatives to the use of fetal bovine serum: human platelet lysates as a serum substitute in cell culture media. *Altex.* 2011. P. 305–316. DOI: 10.14573/altex.2011.4.305.
31. Piletz J.E., Drivon J., Eisenga J., Buck W., Yen S., McLin M., Meruvia W., Amaral C., Brue K. Human cells grown with or without substitutes for fetal bovine serum. *Cell Medicine.* 2018. vol. 10. P. 1–11. DOI: 10.1177/2155179018755140.
32. Usta S.N., Scharer C.D., Xu J., Frey T.K., Nash R.J. Chemically defined serum-free and xeno-free media for multiple cell lineages. *Ann. Transl. Med.* 2014. vol. 2. no. 10. P. 97–105. DOI: 10.3978/j.issn.2305-5839.2014.09.05.
33. Perlman D. Use of antibiotics in cell culture media. *Methods Enzymol.* 1979. vol. 58. P. 110–116. DOI: 10.1016/s0076-6879(79)58128-2.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 378:372.8

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ****¹Сарсекеева Ж.Е., ¹Иванова А.А., ²Сарсекеева Н.Е.**¹*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда,
e-mail: any_ivanova_bis_bis@mail.ru;*²*Карагандинский государственный медицинский университет, Караганда,
e-mail: sarsekeeva.04@mail.ru*

В статье представлены теоретические результаты исследования основных подходов к определению структуры и содержания понятий: «информационное обеспечение», «информация», «информационная деятельность». Выделены основные классификации видов информации. В современном мире информационное обеспечение системы образования превратилось из способа предоставления доступа к требуемой информации в комплекс интеллектуальных услуг, без которого на сегодняшний момент невозможно представить организацию процесса обучения. Авторами обоснована необходимость применения информационного обеспечения в формировании информационной компетентности обучающихся. Информационное обеспечение рассматривается как специализированная работа, нацеленная на реализацию единого процесса согласно подготовке и доведению информации до обучающихся, в рамках которого исполняется поиск, сбор, обработка и доведение данных вплоть до пользователей. Особенность данного процесса состоит в том, что в ходе него не формируются новейшие сведения, а собираются и обрабатываются ранее существующие, что производится в удобной форме информационного продукта и избавляет обучающегося от траты времени на поиск и обработку данных. Информационное обеспечение рассматривается как целенаправленная информационная работа, исполняемая на основе информационных ресурсов, нацеленная на удовлетворение информационных потребностей обучающихся и содействующая результативному решению определенных задач. Информационное обеспечение содействует приспособлению обучающихся к функционированию в зарождающемся информационном пространстве посредством углубления собственных познаний.

Ключевые слова: информационное обеспечение, информационная деятельность, информационная компетентность

**INFORMATION SUPPORT AS A MEANS OF FORMING THE INFORMATION
COMPETENCE OF STUDENTS****¹Sarsekeeva Zh.E., ¹Ivanova A.A., ²Sarsekeeva N.E.**¹*Karaganda State University of E.A. Buketov, Karaganda, e-mail: any_ivanova_bis_bis@mail.ru;*²*Karaganda State Medical University, Karaganda, e-mail: sarsekeeva.04@mail.ru*

The article presents the theoretical results of the study of the main approaches to determining the structure and content of concepts: «information support», «information», «information activities». The main classifications of information types are identified. At the present stage, the information support of the educational system from the means of providing access to the necessary information has become a set of intellectual services, without which it is impossible to imagine the organization of training today. The authors of the justified necessity of using information support in the formation of information competence of students. Information support is considered as a special activity aimed at implementing an integrated process for preparing and communicating information to learners, within the framework of which the search, collection, processing and communication of information to users is carried out. The specificity of this process lies in the fact that during it new information is not created, but the existing information is collected and processed, which is done in a convenient form of the information product and frees the learner from spending time on searching and processing information. Information support of analytical and analytical work, dedicated to information resources, aimed at meeting the information needs of students and contributing to the effective solution of certain tasks. Information support, contributing to adaptation to mobility in mobile education.

Keywords: information support, information activities, information competence

В настоящее время осуществляется очередное изменение социальных формаций: трансформация от индустриального общества к постиндустриальному. Данный переход сопровождается изменением миропонимания всего человеческого общества и, конечно, современного казахстанского общества, преисполненный качественными изменениями, связанными с увеличением необходимости большого объема инфор-

мации в общественном развитии, усовершенствованием новейших средств информационно-коммуникационных технологий и реализацией их во все сферы человеческой деятельности, что привело к преобразованию информации «в глобальный, принципиально неистощимый ресурс человечества, вступившего в новейший период развития цивилизации – период активного освоения данного ресурса» [1, с. 7]. При

этом средства информационно-коммуникационных технологий рассматриваются в трудах казахстанских ученых, среди которых Г.М. Абильдинова [2], А.К. Альжанов [3], М.Б. Батырбекова [4], М.А. Ермаганбетова [5], Г.Д. Жангисина [6], Г.З. Молдахметова [7], С.А. Муликова [8], Г.Г. Сулейменова [9].

Целью статьи является выявление возможностей информационного обеспечения процесса обучения в формировании информационной компетентности обучающихся.

Материалы и методы исследования

Изучение особенностей применения информационного обеспечения в рамках формирования информационной компетентности обучающихся является предметом изучения. Методом изучения стал анализ трудов философов, педагогов, психологов по теме исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Вопрос формирования умственных возможностей обучающихся в настоящий период считается одной из более значимых проблем в образовательной политике государства и педагогической науки. Потребность поиска путей увеличения умственных возможностей обучающихся подтверждается равно как социологическими сведениями, так и итогами международных исследований образовательных достижений обучающихся. Согласно взгляду многих специалистов, к главным вопросам принадлежит неспособность использовать приобретенные познания. Сформировавшаяся обстановка разъясняется главным образом тем, что в наше время обучающиеся обеспечиваются лишь существенным багажом предметных знаний, и это никак не дает возможность им выходить за пределы учебных ситуаций, в которых формируются данные знания. Темпы увеличения объемов учебного материала устанавливаются собственными требованиями к использованию способов обучения обучающихся. И методы эти нередко ориентированы на число усваиваемого материала, а вовсе никак не на его качество. Современное общество ставит задачу подготовки обучающихся знающих, размышляющих, способных самостоятельно использовать знания на практике. В связи с решением задач современного образования осуществляется поиск содержания, форм, способов, средств обучения, которые обеспечивают на практике наиболее обширные способности самоактуализации, саморазвития и самореализации личности. Важнейшей проблемой на данном этапе можно считать адаптацию человека к новой действительности в обществе, его первые

шаги в информационное общество. В свое время Б.Д. Парыгин, исследуя социально-психологические аспекты человека, неразрывно связанные с развитием научной области, подчеркивал, что ускорение процессов, влияющих на деятельность человека, повышение количества информации сопровождается изменением условий необходимой для психологической подготовки личности к взаимодействию в сложной профессиональной действительности. Б.Д. Парыгин соотносил некоторые условия с необходимостью повышения инициативности личности при обработке требуемой профессиональной информации. Подчеркивая отличительную черту информации «к числу наиболее существенных обстоятельств продуктивной деятельности человека», исследователь утверждает, что «эффективность деятельности человека напрямую зависит в связи от степени готовности и способности личности не отставать из-за повышения информации, изменять и изучать ее» [10, с. 187].

Если рассматривать процесс вхождения в информационное общество с точки зрения профессиональной деятельности личности, можно утверждать, что он привел к масштабным изменениям в трудовой деятельности: увеличению зависимости работников всех областей от информационных ресурсов равно как основных ресурсов деятельности и достижений труда, необходимости постоянного увеличения требуемого человеку объема знаний с целью продуктивного осуществления профессиональной деятельности. Информационное обеспечение так же необходимо и обучающимся, которые в связи с совершающимися изменениями все больше ощущают потребность в большем объеме информации, что способствует повышению результативности их деятельности. Необходимость включения обучающихся в информационное пространство определяется, во-первых, все растущим смыслом функции информации в нынешнем мире, которая является в информационном обществе системной ценностью, без которой невозможно само общество. Во-вторых, потребностью общества в знающих, информационно компетентных специалистах, умеющих плодотворно осуществлять работу на основе постоянного повышения уровня личных знаний, расширения границ «информационного багажа» [11, с. 33].

Общие вопросы, связанные с проблемой формирования информационной компетентности, представлены в работах О.В. Барановой [12], Э.М. Воронцовой [13], Т.А. Лавиной [14], П.К. Петрова, Н.Г. Сабитовой [15].

На современном этапе развития общества необходимыми станут выпускники, владеющие информационными и коммуникационными технологиями, готовые к непрерывному улучшению личного уровня и самообразовательной деятельности. По этой причине сохраняется необходимость системы образования в обучающихся со значительной степенью информационной компетентности, способных эффективно реализовывать собственную работу в информационно-образовательной сфере. Главной задачей формирования компетентности обучающихся в сфере информационных и коммуникационных технологий считается их организация к методично квалифицированному применению информационных и коммуникационных технологий в педагогическом процессе. Среди них: стимулирование познавательной работы обучающихся и формирование мотивировки к педагогическому процессу с поддержкой средств информационных и коммуникационных технологий; использование средств информатизации образования в связи с целью и задачами педагогического процесса; реализация контроля и самоконтроля познавательной работы с использованием информационных и коммуникационных технологий; самоанализ и самооценка, наряду с этим осуществление диагностики на основе информационных и коммуникационных технологий. Компетентность в сфере информационных и коммуникационных технологий даст возможность обучающимся являться конкурентоспособными на рынке труда, готовыми к непрерывному профессиональному росту и профессиональной мобильности в согласовании с потребностями актуального образования периода информатизации [12].

Основной проблемой актуального образования считается развитие самого различного рода компетентностей, трактуемых равно как владение познаниями, позволяющими оценивать что-либо; понимание, информированность, авторитетность, полное подробное понимание значимости исполняемой деятельности, методов и средств свершения запланированных целей, а кроме того присутствие определенных умений и навыков и т.д. Наряду с этим акцентируются последующие особенности осознания категории «компетентность»: компетентность как личностное образование; компетентность как общественная презентация; компетентность как общеобразовательный результат. Компетентность кроме того интерпретируется равно как результат работы, т.е. проявления в общественной области познаний, умений и опыта выполнения определенных вопросов [13].

Информационная компетентность анализируется равно как в узком, так и в широком значении данного слова. В широком значении информационная компетентность обуславливается как умение личности регулировать посредством информационных и коммуникационных технологий проблемы индивидуального, учебного и профессионального характера. В узком значении под информационной компетентностью подразумевается свойство индивида, выражающееся в его готовности к независимому применению информационных и коммуникационных технологий в работе с целью выполнения учебных и фактических вопросов. Информационная компетентность обеспечивает навыки деятельности личности с данными, что поступают из различных источников и обладают многообразным содержанием и способами презентации. Понятие информационной компетентности считается разносторонним, имеющим характерные особенности в связи с профилем подготовки и непрерывно изменяющимся в связи со степенью информатизации общества и системы образования [12].

Понятие информационной компетентности интерпретируется равно как комплекс знаний, навыков и умений, развиваемых в ходе обучения и самообучения информационным технологиям, кроме того умение осуществлять работу с поддержкой информационных технологий; сложное индивидуально-психическое состояние, достигаемое вследствие объединения абстрактных познаний и фактических умений работать с данными разных типов, применяя новейшие информационные технологии. Информационная компетентность считается значимым компонентом профессиональной компетентности. Информационная компетентность предполагает интенсивное понимание методов извлечения и трансляции многообразных данных, обладание передовыми информационными технологиями в обучении, базирующаяся на структурный комплекс методологических и общечеловеческих познаний [13].

Т.А. Лавина утверждает, что компетентность в сфере информационных и коммуникационных технологий считается сложной личностно-профессиональной чертой, содержащей мотивационно-ценностный, когнитивно-операционный и рефлексивно-проектировочный элементы, гарантирующие гибкость и стремление обучающегося приспособиться к переменам в работе в обстоятельствах информатизации образования, кроме того перемещать идеи из сферы информационных технологий в прочие сферы познаний и добиваться креативного

проявления с применением ресурсов информационных и коммуникационных технологий [14].

Использование средств информационных и коммуникационных технологий в ходе обучения подразумевает освоение обучающимися общечеловеческих и профессиональных компетенций, наряду с этим одной из значимых частей профессиональной подготовки обучающихся считаются компетенции в сфере информационных и коммуникационных технологий. Информационно-коммуникационные компетенции – это компетенции в сфере информационных и коммуникационных технологий, развитые с помощью актуальных технологий, разрешающие осуществить образовательные задачи в диалоговом содействии в концепции электронного преподавания и учения. Развитие информационной компетентности в профессиональной работе считается базой в самообразовательной деятельности, в результативном изучении информационного пространства, применении информационных действий (обработки, поиска, сбора, представления и распространения данных) с использованием инструментария технологий образования на электронной основе [15].

Из большого количества определений информации рассмотрим дефиницию, установленную В.Г. Афанасьевым: «Информация – это знание, но не все знание, которым располагает человечество, а лишь та его доля, которая применяется с целью ориентирования, интенсивного действия, управления» [16, с. 238].

Иными словами, информация определяется равно как комплекс сведений, снимающих неясность и отвечающих на вопросы, образующиеся в процессе профессиональной работы. В научной литературе создано большое число систематизаций видов данных. Любой ученый в связи с областью собственных заинтересованностей базирует систематизацию на порядке свойств, необходимых ему в личных изысканиях. Среди прочих акцентирует на себя интерес систематизация, созданная В.З. Коганом, при этом исходным положением является аспект «размах циркуляции». В согласовании с ним информация разделяется на 3 вида: индивидуальная, специальная, массовая [17, с. 31].

Установленное В.З. Коганом определение понятия «специальная информация» имеет особенную значимость, к ней причислена информация, обладающая значением в пределах конкретной формальной социальной группы. Она носит профессиональный характер, необходимость в ней

обуславливается принадлежностью к той либо другой формальной структуре. «Желание к получению такого рода информации осознается человеком равно как потребностью обладания исходным материалом с целью формирования алгоритма принятия решений в процессе профессиональной работы» [17, с. 32].

И.А. Базарова считает, что концепция информационно-методического обеспечения появилась в значительной степени равно как результат быстрого формирования информационно-коммуникационных технологий, увеличение данных, в настоящий период ее координационная составная часть и в первую очередь структурное содержание никак не соответствуют условиям информационного общества, что требует усовершенствования работы информационно-методических отраслей. Информационные средства обязаны отвечать конкретным высококачественным данным подобным, равно как значимость, подлинность, общедоступность, новшество, продуктивность, размер данных, целостность и полнота. Функция информационных структур в нынешних обстоятельствах значительно изменяется и никак не относится лишь к развитию информационных средств и предъявлению данных согласно запросу. На сегодняшний день появляется потребностей увеличения функциональных обязанностей методических областей, которые обязаны гарантировать вовлечение обучающихся в процедуру постоянного формирования информационной компетентности, базирующееся в непрерывном прогнозе их информационных потребностей, снабжении соответствующего свойства информационных средств [18].

В то же время И.А. Базарова отмечает, что на предоставление непосредственно типа информации и ориентировано информационно-методическое обеспечение. Информационно-методическое обеспечение представляет собой способ улучшения деятельности обучающихся. Исходным положением информационно-методического обеспечения является понятие «информационное обеспечение». Обычно информационное обеспечение общепринято объединять с работой библиотек и организаций, владеющих научными данными [18].

В ряде исследований рассматриваются вопросы информационно-методического обеспечения учебного процесса (В.В. Довгань [19], Г.В. Соловьевой [20], М.Х. Унашхотлова [21]).

Наряду с этим представляет интерес обширная интерпретация данного понятия, аргументированная М.Я. Дворкиной [22],

равно как деятельности согласно удовлетворению потребностей в информации различным учреждением, способным обеспечить подобные услуги. С целью последующего размышления следует проанализировать понятие «информационная деятельность». Исследование основных положений концепции информационной деятельности, аргументированных философами, позволило сформулировать вывод о том, что информационная деятельность в совокупном представлении – необходимая часть каждой умственной работы, которая состоит в восприятии, сохранении, обработке (осознании, анализе, синтезе) и передачи данных. При анализе структурной цепочки информационной деятельности следует сослаться на исследования, проведенные в данной области В.З. Коганом, которая может быть представлена в виде взаимосвязанной цепочки: информационная потребность – поиск данных – выявление данных – отбор нужной информации – понимание – выработка алгоритма поведения – принятие решения – осуществление решения в действиях поведения [17, с. 112].

Информационное обеспечение в отличие от информационной деятельности, что находится в его основе – это сфера профессиональной деятельности, направленная в угоду информационных потребностей. В информационном обеспечении аналогичная последовательность операций, состоящая из двух элементов, первую реализует сотрудник сферы информации, а вторую – пользователь данных. На сотрудника сферы информации возложены обязательства реализации целой технологической составляющей деятельности по поиску данных, отбору и обработке, хранению и реализации; со своей стороны пользователь обязан понимать и иметь готовность выразить свои потребности в информации и применить полученную информацию в собственной работе. Термин «информационное обеспечение» применяется в разных научных областях. В первую очередь мы отметили, что информационное обеспечение подразумевается множеством ученых как специализированная работа, направленная на реализацию единого процесса согласно подготовке и доведению информации до обучающихся, в рамках которого исполняется поиск, сбор, обработка и доведение данных вплоть до пользователей. Особенность данного процесса состоит в том, что в ходе него никак не формируются новейшие сведения, а собирается и обрабатывается ранее существующая, что производится в удобной форме информационного продукта и избавляет обучающегося от траты времени на поиск и обработку данных [23].

Итогом реализации работы согласно информационному обеспечению считается создание информационных ресурсов, то есть совокупности различных сведений, данных, требуемых для решения определенных задач в той либо другой сфере работы людей. Они – база информационного обеспечения. Последующей, никак не меньше значимой составляющей дефиниций информационного обеспечения, которую мы имели возможность отметить, считается его нацеленность на удовлетворенность информационных потребностей обучающихся, которая не способна результативно реализоваться в отсутствии их непрерывного прогноза и анализа. И, наконец, следует выделить, что множеством авторов подчеркивается направленность, нацеленность субъекта на результат, либо другой областью в целом. Опираясь на вышесказанное и принимая во внимание, что сущность и цели информационного обеспечения определяются основными задачами образовательной сферы, в которой формируется та либо другая информационная структура, мы можем установить, что информационное обеспечение – это целенаправленная информационная работа, исполняемая на основе информационных ресурсов, нацеленная на удовлетворение информационных потребностей обучающихся и содействующая результативному решению определенных проблем, стоящих перед ними. Информационное обеспечение должно быть направлено не только лишь на удовлетворение информационных потребностей обучающихся, однако и на формирование и последующее увеличение их информационных потребностей; на выработку у них желания к интенсивной деятельности с информацией и понимание значимости использования данных в ходе улучшения собственной умственной работы; креативного подхода к внедрению новейших данных в собственную работу; на улучшение умений и навыков деятельности с информацией; непрерывное увеличение степени теоретической подготовки и увеличение объема знаний; на совершенствование умений самостоятельной деятельности с информацией; развитие осознанного отношения к деятельности с данными равно как объективно требуемого условия эффективного осуществления целей учебной работы и накопления личных познаний. До тех пор, пока пользователи информации не станут понимать, какие сведения необходимы им в ходе работы; равно как, оперативно взаимодействуя с информационными структурами, приобрести требуемые сведения, равно как результативно использовать ее в собственной деятельности полный инфор-

мационный механизм станет неэффективен. По этой причине методическая составная часть информационного обеспечения в нынешних обстоятельствах выходит на первый план, становится важным направлением деятельности, из-за чего мы считаем правильным заявлять не об информационном обеспечении специалистов, то есть накоплении информационных ресурсов и передачи информации по любому требованию, а об информационно-методическом обеспечении и облегчении их работы [23, с. 26].

М.Х. Унашхотлов в собственном исследовании уделяет внимание формированию информационно-методического обеспечения с целью автоматизации раскрытия начальный и достижения установленной степени обученности. В этом контексте под информационно-методическим обеспечением подразумевается комплекс характеристик успешности деятельности обучающегося и успешности выполнения им задач, которые обеспечивают автоматизацию процесса контроля степени его обученности, набора общих задач и методических рекомендаций согласно их применению с целью автоматизации действий контроля и достижения установленной степени обученности [21, с. 3].

Вместе с тем информационно-методическое обеспечение рассматривается в контексте педагогического мониторинга равно как требование благополучного формирования обучающихся, позволяющее оперативно и вовремя подбирать методики и технологии обучения, соответствующие формированию контингента обучающихся. Непосредственно изменение целей образования спровоцировало потребность применения информационно-методического обеспечения как условия развития обучающихся [24].

Сегодняшнее образовательное учреждение в наиболее широком спектре требует организации информационно-методического обеспечения учебного процесса, т.е. обеспечения нужными научно-теоретическими, учебно-методическими, информационно-справочными, нормативными и иными источниками, которые применяются в преподавании и учении. При применении ресурсов информационных и коммуникационных технологий данные источники необходимы в электронном варианте. Обеспечение создает информационный поток среди источников документов, учебных материалов и потребителем данных материалов в педагогическом процессе. Информационный поток в образовательном учреждении предполагает собой данные, презентованные в электронном варианте, включающие информацию о педагогическом процессе.

Сведения принимаются техническими системами либо людьми; реорганизуются в согласовании с объективно существующими у них предпосылками. Вследствие этого данные сведения являются необходимыми с целью подходящего и направленного применения субъектами образовательного процесса. С целью формулировки взаимоотношений субъектов с данными, кроме того, вероятных взаимоотношений единичных ее компонентов с предметной сферой использования в ходе информационного взаимодействия создается информационное обеспечение учебного процесса. С целью развития и укрепления в конкретной степени информационно-методического обеспечения образовательного процесса требуется стремление педагогов образовательных учреждений к такому роду работы, что обуславливается присутствием определенных обстоятельств, которые обеспечивают реализацию работы обучающихся с информационными средствами: присутствие информационно-коммуникационной предметной области, координационных обстоятельств. Под информационным взаимодействием на основе ресурсов информационных и коммуникационных технологий подразумевается процедура передачи, способа данных, презентованной в каждом варианте при осуществлении обратной связи, интерактивного диалога, при сборе, обработке, производстве, архивировании и транслировании данных, программно-методические, учебные, нормативные материалы (документы, литература, проекты), материальные источники и носители данных среди субъектов информационного взаимодействия – обучающихся и педагогов. В рамках информатизации образования информационно-коммуникационная предметная область анализируется равно как комплекс обстоятельств, которые обеспечивают реализацию работы пользователя с информационными средствами согласно сбору, обработке, использованию данных, познания, кроме того информационного взаимодействия с иными пользователями с поддержкой ресурсов информационных и коммуникационных технологий, взаимодействующих с ними равно как субъектом информационного общения. Наряду с этим данная область содержит большое число информационных объектов и взаимосвязей среди них. При этом необходим учет методологических подходов к применению ресурсов информационных и коммуникационных технологий в информационно-методическом обеспечении учебного процесса [19].

В.В. Довгань предложил уровневые характеристики в сфере формирования и при-

менения информационно-методического обеспечения, организационного управления и информационного взаимодействия. Первый уровень подразумевает определенный объем познаний, умений и навыков в ходе реализации информационной работы и информационного взаимодействия; структуру и содержание информационно-методического обеспечения образовательного процесса. Второй уровень подразумевает конкретный объем познаний, умений и навыков в ходе применения автоматизированных банков и баз сведений учебно-методических и научно-теоретических данных. Третий уровень подразумевает определенный объем познаний, умений и навыков в ходе использования актуальных ресурсов информационных и коммуникационных технологий. Четвертый уровень подразумевает определенный объем познаний, умений и навыков в ходе использования инструментальных ресурсов и концепций, обеспечивающих применение социально-педагогических предпосылок информационных и коммуникационных технологий разного вида, в согласовании с условиями их эргономического свойства; развитие информационно-методического обеспечения педагогического процесса, содержащего разного вида базы и автоматизированные банки учебно-методических, нормативно-правовых данных [19].

В наше время в условиях быстро меняющегося общества, призывающего человека уметь ориентироваться в новейших и зачастую неясных, необычных ситуациях, такого рода значимой проблемой образования считается умственное развитие обучающихся. Однако в концепции сегодняшнего учебного процесса и психологии сформировались подобные противоречия, представленные в виде условий, которые ограничивают умственное формирование обучающихся. Первичным противоречием в обучении можно назвать несовместимость потребности в творческом подходе и его основой по большому счету на алгоритмическую деятельность обучающихся. В процессе обучения опираются на познавательные способности обучающихся: усвоение знаний, формирование умений и навыков создается на базе перцепции, памяти, мышления, воображения. Но познавательные возможности обучающихся мало применяются как способ их умственного формирования. Вторичное противоречие – между направленностью образовательного учреждения на индивидуальное формирование личности и совместной работой обучающихся в учебной деятельности. При этом главным субъектом обуче-

ния является личность, и целью образовательного процесса принято рассматривать создание условий для развития и реализации заложенных способностей каждой личности. Однако процесс обучения по своей сущности имеет общественный, коллективный характер, по этой причине возможности развития личностных компонентов управления и самоуправления умственного формирования обучающихся ограничены [25].

Информационное обеспечение обладает существенной значимостью в формировании умственных возможностей обучающихся. Интеллектуальное развитие – это не только совокупность знаний и умений, однако и способность данные познания осваивать и разрешать неординарные ситуации. При этом интеллектуализация рассматривается равно как защитная реакция, воздействие которой заключается в способе изучения значимых для человека трудностей, определяющаяся чрезмерным преувеличением необходимости рационалистических элементов при абсолютном игнорировании психологических, эмоциональных элементов рассмотрения [26, с. 171].

Интеллектуальное развитие предопределяется как совокупность знаний, умений и навыков, сформировавшихся при их освоении умственных действий; свободное использование их в мыслительных операциях, гарантирующее освоение в определенном масштабе новых знаний и умений [26, с. 521].

Зримая возможность интеллектуального формирования кроется в творческих и познавательных возможностях личности. Следует опираться на исходные положения целостности и общей взаимозависимости структуры, типов мышления, при рассмотрении интеллектуального развития обучающегося. Любое несоблюдение указанной закономерности снижает эффективность мышления. В том случае, если предмет мышления отражает знаменательные аспекты социальной и культурной жизни, в которой проистекали жизнедеятельность и работа обучающегося, постижение предоставленного материала определяется интеллектуальным становлением личности, и его умственные способности могут быть необходимыми для усвоения нового материала. Отличительная черта интеллектуального формирования подразумевает не только наличие онтогенеза, но и влияние естественных психофизиологических характерных качеств личности. Это выражается в мыслительной деятельности, в формирующейся стимуляции выбора личностью конкретных видов работы [26, с. 522].

Заключение

Опираясь на материалы психолого-педагогических исследований, возможно сформулировать вывод, что информационное обеспечение содействует приспособлению обучающихся к функционированию в развивающемся информационном обществе благодаря увеличению знаний, получения ими умений и навыков, требуемых для успешного и результативного развития умственных возможностей обучающихся, влияя на их индивидуальные свойства. В связи с этим информационно-методическое обеспечение представляет собой особую педагогическую технологию формирования информационной компетентности обучающихся, суть которой состоит не только лишь в предоставлении данных, содействующих удовлетворению информационных потребностей обучающихся, однако, кроме того, и в стимулировании их информационной активности, формировании и последующем увеличении их информационных потребностей, формировании у обучающихся умений и навыков результативной деятельности с данными и средствами информационно-коммуникационных технологий.

Список литературы

1. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации: диалектика прогрессивной линии развития как гуманная общечеловеческая философия для XXI века. М.: ВЛАДОС, 1994. 334 с.
2. Абилюдинова Г.М. Методика создания и использования электронного средства контроля знаний студентов по программированию на основе теории экспертных систем. Алматы: Эрекет-Принт, 2010. 21 с.
3. Альжанов А.К., Абилюдинова Г.М. Мультимедийные технологии в образовании: учеб.-метод. пособие. Алматы: Эпиграф, 2015. 94 с.
4. Багырбекова М.Б. Анализ существующих информационно-коммуникационных технологий в образовании РК и пути ее усовершенствования // Саясат Policy. 2013. № 4. С. 4–5.
5. Ермаганбетова М.А. Информационные и коммуникационные технологии в образовании: учеб. пособие. Алматы: Эпиграф, 2016. 90 с.
6. Жангисина Г.Д. Информационные системы и технологии: учеб. пособие. Алматы: Эверо, 2016. 120 с.
7. Молдахметова Г.З. Анализ путей повышения качества интегрированного обучения с применением электронного учебно-методического пособия // Высшее образование сегодня. 2010. № 1. С. 30–33.
8. Муликова С.А. Информационно-образовательная среда вуза как условие формирования информационно-аналитической культуры студентов // В мире образования. 2009. № 6. С. 33–35.
9. Сулейменова Г.Г. Развитие информационно-коммуникационных технологий в образовании // Наука и жизнь Казахстана. 2011. № 1. С. 222–226.
10. Практикум по социально-психологическому тренингу / Под ред. 3-е изд. СПб.: Изд-во Михайлова С.А., 2009. 350 с.
11. Прикладная информатика: справочник: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и В.А. Юрьева. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. 768 с.
12. Баранова О.В. Формирование информационной и коммуникационной компетентности будущих учителей начальных классов в условиях прикладного бакалавриата: дис. ... канд. пед. наук: Нижний Новгород, 2017. 219 с.
13. Воронцова Э.М. Формирование информационно-коммуникативной компетентности будущих педагогов в условиях перехода на двухуровневую систему подготовки: дис. ... канд. пед. наук: Йошкар-Ола, 2014. 196 с.
14. Лавина Т.А. Развитие компетентности учителя в области информационно-коммуникационных технологий в условиях непрерывного педагогического образования // Информатика и образование. 2012. № 1. С. 72–74.
15. Петров П.К., Сабитова Н.Г. Модель формирования информационно-коммуникационных компетенций у студентов бакалавриата вуза // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17281> (дата обращения: 25.10.2018).
16. Афанасьев В.Г. Человек. Общество, управление, информатика. Опыт системного подхода. М.: Либроком, 2013. 208 с.
17. Коган В.З. Теория информационного взаимодействия: философско-социологические очерки. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1991. 320 с.
18. Базарова И.А. Информационно-методическое обеспечение как средство совершенствования профессиональной деятельности специалистов культурно-досуговой сферы: дис. ... канд. пед. наук. Санкт-Петербург, 2008. 251 с.
19. Довгань В.В. Создание и использование электронного образовательного ресурса в составе информационно-методического обеспечения учебного процесса: дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2012. 139 с.
20. Соловьева Г.В. Информационно-методическое обеспечение воспитательного процесса в деятельности социально ориентированных объединений: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Кострома, 2013. 20 с.
21. Унашотлов М.Х. Информационно-методическое обеспечение автоматизации процессов контроля и достижения заданного уровня обученности специалиста: автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 2008. 19 с.
22. Дворкина М.Я. Библиотечно-информационная деятельность: Теоретические основы и особенности развития в традиционной и электронной среде. М.: ГРАНД-ФАИР, 2009. 256 с.
23. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании: учеб. пос. для студ. высш. учеб. заведений. 6-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 192 с.
24. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие для высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 112 с.
25. Гальперин П.Я. Лекции по психологии. М.: Книжный дом «Университет», 2009. 420 с.
26. Новейший психологический словарь / Под общей ред. В.Б. Шапаря. 4-е изд. Ростов н/Д.: Феникс, 2009. 806 с.