Российский фонд фундаментальных исследований
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Фонд «Международный инкубатор технологий»
Министерство образования и науки Республики Марий Эл
ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН
ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»
ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»: ФИТБ
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»
Филиал «Мариэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья»
Российская Академия Естественных Наук
Российская Академия Естествознания
ГУ Национальный парк «Марий Чодра»
Малое предприятие «ОРОЛ»



МАТЕРИАЛЫ СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ — 2012» ISS «SI–2012»:

Материалы седьмого международного научного семинара «Фундаментальные исследования и инновации» и Всероссийского молодежного научного семинара «Наука и инновации – 2012»

23 — 29 июля 2012 г

Йошкар-Ола 2012



Фото участников на память после закрытия школы

Российский фонд фундаментальных исследований
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Фонд «Международный инкубатор технологий»
Министерство образования и науки Республики Марий Эл
ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН
ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»
ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»: ФИТБ
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»
Филиал «Мариэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья»
Российская Академия Естественных Наук
Российская Академия Естествознания
ГУ Национальный парк «Марий Чодра»
Малое предприятие «ОРОЛ»

МАТЕРИАЛЫ СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ — 2012» ISS «SI–2012»:

Материалы седьмого международного научного семинара «Фундаментальные исследования и инновации» и Всероссийского молодежного научного семинара «Наука и инновации – 2012»

23 — 29 июля 2012 г

Йошкар-Ола 2012

УДК 001.895:(53+57+316+61)
ББК 26.8
М 341

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ ISS «SI-2012»

И.И. Попов (Россия, Йошкар-Ола) – **председатель**
Т.М. Гусакова (Россия, Йошкар-Ола) – **сопредседатель**
В.Г. Зинов (Россия, Москва) **– сопредседатель**
Н.Г. Куракова (Россия, Москва) – **сопредседатель**
В.В. Самарцев (Россия, Казань) – **сопредседатель**
А.П. Сухоруков (Россия, Москва) – **сопредседатель**
А.А. Шуканов (Россия, Чебоксары) – **сопредседатель**
В.А. Козлов (Россия, Чебоксары) **– ученый секретарь**
А.А. Агибалов (Москва)
С.Я. Алибеков (Йошкар-Ола)
Ю.С. Андрианов (Йошкар-Ола)
А.В. Анисимов (Казань)
Ю.В. Банный (Москва)
М.Б. Белоненко (Волгоград)
О.Л. Воскресенская (Йошкар-Ола)
В.Я. Гайворонский (Украина, Киев)
В.А. Голенищев-Кутузов (Казань)
Ю.Б. Грунин (Йошкар-Ола)
И.П. Зелди (Йошкар-Ола)
В.П. Ившин (Йошкар-Ола)
О.Н. Ильинская (Казань)
Т. Кавецкий (Украина, Дрогобыч)
Н.Ф. Кашапов (Казань)
Л.Б. Киселева (Йошкар-Ола)
Р. Киян (германия, Ганновер)
Н.М. Кузнецова (Йошкар-Ола)
А.П. Куликовский (Москва)
Н.Г. Куракова (Москва)
Р.Ф. Мюллер (Йошкар-Ола)
Д.В. Николаев (Москва)
Р.Ф. Полищук (Москва)
О.С. Сироткин (Казань)
А.Л. Степанов (казань)
Н.И. Сушенцов (Йошкар-Ола)
Д.И. Трубецков (Саратов)
Р.Ф. Фахруллин (Казань)
Феng Рен (Китай, Ухань)
А.И. Фишман (Казань)
А.В. Фролов (Беларусь, Минск)
Р.Н. Шахмуратов (Казань)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ ISS «SI-2012»

И.И. Попов (Россия, Йошкар-Ола) – **председатель**
Н.М. Кузнецова (Россия, Йошкар-Ола) – **сопредседатель**
В.В. Самарцев (Россия, Казань) – **сопредседатель**
В.А. Козлов (Россия, Чебоксары) – **ученый секретарь**
Ю.С. Андрианов (Йошкар-Ола)
М.Б. Белоненко (Волгоград)
Н.С. Вашурин (Йошкар-Ола)
О.Л. Воскресенская (Йошкар-Ола)
А.М. Гладышев (Йошкар-Ола)
И.П. Зелди (Йошкар-Ола)
В.Ж. Карпов (Йошкар-Ола)
Л.Б. Киселева (Йошкар-Ола)
Р.Ф. Мюллер (Йошкар-Ола)
Д.В. Николаев (Москва)
А.И. Орлов (Йошкар-Ола)
Р.Ф Полищук. (Москва)
Н.И. Попова (Йошкар-Ола)
В.Т. Сидорова (Йошкар-Ола)
С.А. Степанов (Йошкар-Ола)
Н.И. Сушенцов (Йошкар-Ола)
С.А. Туйкин (Москва)
Н.Г. Чашина (Йошкар-Ола)
Д.Р. Яруллина (Казань)

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

И.И. Попов – д-р физ.-мат. наук (председатель редакционного совета)
В.А. Козлов – д-р биол. наук, канд. мед. наук, (зам. председателя редакционного совета)
В.В. Самарцев – д-р физ.-мат. наук
В.Г. Зинов – д-р экон. наук

М341 Материалы Седьмой международной научной школы «Наука и инновации – 2012» ISS «SI-2012»: Материалы Седьмого международного научного семинара «Фундаментальные исследования и инновации» и Всероссийского молодежного научного семинара «Наука и инновации – 2012» / ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»**:** редакционная коллегия: Н.М. Кузнецова – канд. пед. наук, доцент, ректор, проф. И.И. Попов, чл.-корр. РАЕ, проф. В.А. Козлов, акад. РАЕН, проф. В.В. Самарцев, проф. В.Г. Зинов. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2012. – 288 с.

В данный сборник вошли лекционные заметки и статьи приглашенных лекторов по актуальным научным проблемам, сообщения докладчиков по инновационно-ориентированным НИР и лучшие выступления молодых ученых по программе «У.М.Н.И.К.».

ISBN 978-5-4325-0048-9

http://volgatech.net

УДК 001.895:(53+57+316+61)
ББК Ч21к94+В3+Е0+С+Р
© ГБОУ ДПО (ПК) «Марийский институт образования», 2012

ISBN 978-5-4325-0048-9

От науки к экономической независимости
с экологической и духовно-нравственной востребованностью

СОДЕРЖАНИЕ

СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ»
Попов И. И., Банный Ю. В., Голенищев-Кутузов В. А., Козлов В. А., Шуканов А. А.
ШКОЛА «НАУКА И ИННОВАЦИИ» И ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ 7
I. «ИННОВАТИКА»
Кашапов Н. Ф., Галимов А. М.
ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
В КАЗАНСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ 12
II. «САТЕЛЛИТНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО КОГЕРЕНТНОЙ И КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ»
Посвящается памяти профессора И.В. ЕВСЕЕВА
Бабич М. В., Калачев А. А., Латыпов И. З., Самарцев В. В., Шкаликов А. В.
МАКЕТ ИСТОЧНИКА ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА ОСНОВЕ СПР
В КРИСТАЛЛАХ С РЕГУЛЯРНОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В РЕЗОНАТОРЕ 15
Белоненко М. Б., Федоров Э. Г.
ДВУМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВИХРИ И БРИЗЕРЫ
В МАССИВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК 22
Вашурин Н. С., Попов И. И., Сидорова В. Т., Степанов С. А., Сушенцов Н. И., Путилин С. Э., Белоненко М. Б.
ДВУХФОТОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ НА СВОБОДНЫХ ЭКСИТОНАХ
И ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ФОТОННОГО ЭХА
В ПЛЕНКАХ ОКСИДА ЦИНКА НАНОРАЗМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ 31
Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Калимуллин Р. И.
СВЕРХМОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ 36
Голубев А. Н., Никитин С. И., Кавецкий Т. С., Степанов А. Л.
ИОННЫЙ СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ 42
Воробьева В. Е., Тиранов А. Д., Самарцев В. В.
СЖАТИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЭХО-СИГНАЛОВ
ЧАСТОТНО МОДУЛИРОВАННЫМИ ИМПУЛЬСАМИ 47
Гильмутдинов И. З., Латыпов И. З. , Шкаликов А. В., Калачев А. А., Самарцев В. В.
ОПТИМАЛЬНАЯ СХЕМА ВРЕМЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОДНОФОТОННЫХ
ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ СПОНТАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ 50
Калачев А. А., Латыпов И. З., Самарцев В. В., Шкаликов А. В.
ИСТОЧНИКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ПЕРЕПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ 55
Каримуллин К. Р., Тиранов А. Д., Самарцев В. В.
FDTD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КОГЕРЕНТНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРИМЕСНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ 60
Киян Р., Степанов А. Л.
ФОКУСИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЗА РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ПЛАЗМОН-
ПОЛЯРИТОННЫХ ВОЛН ПОВЕРХНОСТНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ,
СФОРМИРОВАННЫМИ МЕТОДОМ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ
ДВУХФОТОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 66
Леонтьев А. В., Лобков В. С., Митрофанова Т. Г., Самарцев В. В., Чекалин С. В.
ДВУХФОТОННОЕ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОЕ СМЕШЕНИЕ И ДЛИННОВОЛНОВЫЙ СДВИГ
СПЕКТРА ФЕМТОСЕКУНДНОГО ФОТОННОГО ЭХА В КРИСТАЛЛЕ CdS
ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ 71

Митрофанова Т. Г., Романов В. С., Самарцев В. В.
ГЕНЕРАЦИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА И СВЕРТКА ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ОБЛАСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОНОКРИСТАЛЛАХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЭХА 74
Самарцев В. В., Зуйков В. А., Митрофанова Т. Г.
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕРАВНОВЕСНЫХ «РЕШЕТОК» НАСЕЛЕННОСТЕЙ, ЗАПИСАННЫХ СКРЕЩЕННЫМИ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В ПРИМЕСНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ, И РОЛЬ ФОНОНОВ В РАСПАДЕ «РЕШЕТОК» 78
Самарцев В. В., Леонтьев А. В., Митрофанова Т. Г.
ДВУХКВАНТОВЫЙ КОРРЕЛЯТОР ФОТОНОВ В РЕЖИМЕ «ПЕРЕПУТАННОГО» СВОБОДНО ИНДУЦИРОВАННОГО СПАДА В СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ 80
Сидорова В. Т., Вашурин Н. С., Попов И. И., Степанов С. А., Белонено М. Б.
ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ФОТОННОГО ЭХА ПРИ ЕГО ЧАСТИЧНОМ РАССЕЯНИИ НА ОПТИЧЕСКИХ ФОНОНАХ В НАНОПЛЕНКАХ ZNO 87
Степанов С. А., Сидорова В. Т., Вашурин Н. С., Попов И. И., Сушенцов Н. И.
ФОТОННОЕ ЭХО КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO 90
III. «ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ»
Алибеков С. Я., Разинская О. И.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ 94
Грунин Ю. Б., Грунин Л. Ю., Никольская Е. А., Таланцев В. И., Грунина Т. Ю.
МОДЕЛЬ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ 96
Венедиктов С. В., Андреева З. А., Богомолов А. А., Егошин Ю. Ю.
НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ОРГАНИЗАЦИИ ОБНОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 100
Константинов Е. В., Перистый В. Ф.
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА 103
Лычко А. Б.
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ И КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ 106
Носков А. И., Фишман А. И., Аминова Р. М.
ИССЛЕДОВАНИЕ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ДИНАМИКИ СЛАБЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ 1,2-ДИХЛОРЭТАНА В СТЕКЛУЮЩЕЙСЯ МАТРИЦЕ 109
Полищук Р. Ф.
О СКАЗКЕ РЕИНКАРНАЦИИ И НАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА 112
Полищук Р. Ф.
ПОСТ-ЭЙНШТЕЙНОВА КОСМОЛОГИЯ: КРУЧЕНИЕ, СТРУНЫ, ДУАЛЬНАЯ СИММЕТРИЯ 116
Сироткин О. С.
ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ 126
Суслина С. В., Алибеков С. Я., Хапов П. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ 132
Сушенцов Н. И., Филимонов В. Е., Мороз А. В.
ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОК ТИТАНАТА БАРИЯ СТРОНЦИЯ ДЛЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ 135
IV. «ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И БИОТЕХНОЛОГИИ»
Богатых С. П., Любовцева Е. В., Любовцева Л. А.
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ 139

Блинова А. Д., Лежнина М. Н., Шуканов А. А.
КОРРЕКЦИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТАТУСА НАДПОЧЕЧНИКОВ У ПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ С УЧЕТОМ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧУВАШСКОГО ЮГО-ВОСТОКА И ЦЕНТРА ... 142
Козлов В. А.
ИНТРОННАЯ РНК И ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ГЕНОМА – КРИЗИС ПОНЯТИЯ ГЕН 147
Лежнина М. Н., Шуканов А. А.
ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ, ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ У СВИНЕЙ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЧУВАШСКОГО ЗАСУРЬЯ 157
Любовцева Е. В., Кузнецов С. Л., Любовцева Л. А.
ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОАМИНОВ ПОСЛЕ АКУПУНКТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 162
Наместников В. А., Равилов Р. Х.
ГРИПП ПТИЦ. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ И МЕРЫ КОНТРОЛЯ 168
Смоленцев С. Ю., Зелди И. П., Попов И. И.
ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «АИД-1» НА СОСТОЯНИЕ КОПЫТНОГО РОГА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА 171
Панихина А. В., Пахомова И. Ю., Шуканов А. А.
ДИНАМИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТУДЕНТОК 1-2 КУРСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ АЭРОБИКИ И БИОПРЕПАРАТА «СЕЛЕНЕС+» 173
Шатских О. А., Сергеева В. Е., Лузикова Е. М.
ИССЛЕДОВАНИЕ CD-57^{+} КЛЕТОК ТИМУСА ПРИ ВВЕДЕНИИ МЕЛАТОНИНА 177
Яковлев Г. А., Шуканов А. А.
КОРРЕКЦИЯ РОСТА ТЕЛА И НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ1 У БЫЧКОВ НАЗНАЧЕНИЕМ НОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БИОПРЕПАРАТОВ 181
Ястребова С. А., Сергеева В. Е., Илларионова С. В., Зайцева Н. А.
РЕАКЦИЯ CD4-, CD8- ПОЗИТИВНЫХ КЛЕТОК СЕЛЕЗЕНКИ НА ВВЕДЕНИЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРОВ Т-АКТИВИНА И ГАЛАВИТА 185
V. «СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ»
Мельников А. А., Малахов М. В., Николаев Д. В.
ВОЗМОЖНОСТИ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРОВИ 189
Мельников А. А., Попов С. Г.
ЭФФЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО УТОМЛЕНИЯ, ВЫЗВАННОГО АЭРОБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ, НА ОРТОСТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ У СПОРТСМЕНОВ 192
Николаев Д. В., Руднев С. Г., Старунова О. А., Корнеева И. Т., Мингазова Э. М., Болтачева Е. А., Жулин Н. В., Киселева Л. Б., Николаев В. Т., Мельников А. А., Поляшова А. С., Красавина Н. А., Смелова Т. П.
О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ И РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ НУТРИТИВНОГО СТАТУСА, СОСТАВА ТЕЛА И ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ И ВУЗОВ МЕТОДОМ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА 196
Николаев Д. В., Смирнов А. В., Колесников В. А.
О ВОЗМОЖНОСТЯХ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ТКАНЕЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА 203
Руднев С. Г., Можокина Г. Н., Богородская Е. М., Галыгина Н. Е., Николаев Д. В., Русских О. Е.
НУТРИТИВНЫЙ СТАТУС И СОСТАВ ТЕЛА БОЛЬНЫХ ТУБЕРКУЛЕЗОМ 210
Строганова Н. Н., Козлов В. А., Смелова Т. П., Павлов А. А.
СОСТОЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ г. ЧЕБОКСАРЫ И НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПО ДАННЫМ БИОИМПЕДАНСМЕТРИИ 215

Тенюкова К. Ю., Тенюков В. В.
ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕН В ОБЩЕСТВЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ СКРИНИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 224
VI. «ХИМИЯ, НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»
Козлов В. А., Новиков К. В., Мокеева Т. Г., Кузьмина С. А.
РЕАКЦИИ ЦИКЛОКОНДЕНСАЦИИ ОКСОКИСЛОТ С МОЧЕВИНОЙ 231
Козлов В. А., Митрасов Ю. Н., Кондратьева О. В., Гордеева И. В., Полякова О. Е., Кочнева А. Н., Авруйская А. А., Сорокина В. А., Колямшин О. А.
ФОТОМЕТРИЯ 4-АЗА-4-АРИЛ-1-ГИДРОКСИМЕТИЛ-10-ОКСА-3,5-ДИОКСОТРИЦИКЛО[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]ДЕЦ-8-ЕНОВ 232
Кольцова О. В., Скворцов В. Г., Пыльчикова Ю. Ю., Ершов М. А., Цыпленкова А. Ю., Никитина В. В.
ПОВЕДЕНИЕ ОКСОБОРАТА ВОДОРОДА В ПРИСУТСТВИИ НЕКОТОРЫХ АЛИФАТИЧЕСКИХ АМИДОВ 235
Митрасов Ю. Н., Кондратьева О. В., Яшкильдина С. П., Авруйская А. А., Леснова Т. А.
РЕАКЦИИ 1,1-ДИ(4-АМИНОФЕНИЛ)ЦИКЛОГЕКСАНА С МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ . 239
Митрасов Ю. Н., Кондратьева О. В., Садикова Л. М., Гордеева И. В., Яшкильдина С. П., Уткина О. Ю.
РЕАКЦИИ В СИСТЕМЕ «4-(N-α-ФУРИЛМЕТИЛЕНАМИНО)- И 4,4′-ДИ(N-α-ФУРИЛМЕТИЛЕНАМИНО)-3,3′-ДИМЕТИЛБИФЕНИЛЫ – ДИАЛКИЛФОСФИТЫ – N-ФЕНИЛМАЛЕИНИМИД» 242
VII. «ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕСТВА»
Воскресенская О. Л., Алябышева Е. А., Закамская Е. С., Османова Г. О., Бекмансуров М. В., Скочилова Е. А., Воскресенский В. С.
ВЛИЯНИЕ ПОДЪЕМА ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ 246
Яруллина Д. Р., Глазунова Е. Г., Васильев И. Ю., Ильинская О. Н.
МАРКЕРЫ ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ПИГМЕНТОВ МИКРООРГАНИЗМОВ.. 250
VIII. «ПРОБЛЕМЫ ГУМАНИТАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
Зорина З. Г.
АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПРАСЕГМЕНТНЫХ ЗВУКОВЫХ СРЕДСТВ..... 253
Орлов А. И., Попов И. И., Козлов В. А., Зорина З. Г.
СЕГМЕНТАЦИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА 260
Парамонова Н. Г., Павлова И. А.
ИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА УРОКАХ ХИМИИ..... 263
Тенюкова К. Ю., Идрисов А. С., Рутенко Н. А., Казак И. К., Тенюков В. В.
ОПТИМИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ ВНУТРЕННИХ БОЛЕЗНЕЙ..... 268
ВСЕРОССИЙСКИЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР «НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2012»
КОНКУРС ПО ПРОГРАММЕ «У.М.Н.И.К.»
Крашенинникова Н. В., Максимов И. И.
СЫРОИЗГОТОВИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОТКРЫТОГО ТИПА С БАРБОТАЖНЫМ СПОСОБОМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ 275
Рыбаков К. В., Максимов И. И.
ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ..... 275
Стариков П. В., Соловьев В. Г., Орлов А. И.
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОКВАРТИРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ 276
БИОГРАФИИ
Самарцев В. В., Попов И. И.
ЖИЗНЬ И НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОФЕССОРА ИГОРЯ ВИКТОРОВИЧА ЕВСЕЕВА В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ЭХО-СПЕКТРОСКОПИИ ГАЗОВ 289
ФОТОХРОНИКА ШКОЛЫ..... 284
ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ……..289

СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ»

ШКОЛА «НАУКА И ИННОВАЦИИ» И ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ

И. И. Попов, Ю. В. Банный, В. А Голенищев-Кутузов., В. А. Козлов, А. А. Шуканов

Марийский государственный университет
popov@marsu.ru

Интеллектуальный потенциал России является одним из наиважнейших национальных достояний и, как таковой, в первую очередь, должен способствовать повышению благосостояния страны и ее народа, мощно способствовать всем аспектам политики государства. Осознавая неэффективность освоения выделенных в последние годы существенных средств на развитие экономики знания, участники Школы признают, что российская наука переживает углубляющийся кризис своего места в мировом технологическом укладе. По индексам мировых поисковиков, прогрессивно снижается цитирование российских ученых в международных реферируемых журналах. Но, что на наш взгляд самое важное, это – уменьшение инновационно-технологического воздействия отечественной науки на производственную сферу; расширяется брешь между уровнем научных исследований и технологической конкурентоспособностью страны. Вместе с тем, практически отсутствует направляющая и интегрирующая функция, как между научными направлениями, так между наукой и потребностями технологического развития, что приводит к бессистемной деятельности научных коллективов, неэффективности усилий и распылению выделяемых ресурсов. Самобытность и глубина российской научной мысли традиционно создавали предпосылки или решения волнующих человечество проблемам. Многие теоретические и экспериментальные заделы российских и советских ученых легли в основу ряда наиболее прорывных технологий Запада, реализовавшихся в импортируемую нам же продукцию. Исконно, западные промышленники обращали взоры − и обращают по настоящее время (на примере проекта «Сколково») − к уникальному российскому научному потенциалу для повышения конкурентоспособности своего глобального бизнеса. Ежегодная международная научная школа «Наука и инновации» (далее, ШНИ) была создана в 2006 г. по инициативе группы российских ученых, обеспокоенных существующими тенденциями развития отечественной науки и ее роли в обществе. ШНИ поставила своей целью налаживание прямого взаимодействия и решения проблемы коммуникаций между группами исследователей и инновационно-технологическим бизнесом.

К основным проблемам, решаемым участниками ШНИ, относятся:

✓ доступность современных библиометрических инструментов для широкого круга российских исследователей;

✓ формирование мировых научно-исследовательских фронтов на базе научных заделов российских ученых;

✓ освоение английского языка, являющегося современным средством международного научного общения, как массового коммуникативного средства;

✓ формирование самодостаточной инновационной инфраструктуры зарождения и сопровождения процесса вывода на рынок высокотехнологичной продукции;

✓ сопряжение личных экономических интересов и рейтинговых показателей ученого с государственными интересами;

✓ понимание роли и возможностей науки в продлении жизни человека, решении экологических проблем, освоении и сбережении энергетических ресурсов, развитии информационных технологий и электронных ресурсов, гармонизации жизни на Земле.

В этой связи, ШНИ решает следующие задачи:

✓ формирование научного задела для конкурентоспособного инновационного бизнеса;

✓ академическое сопровождение идей молодых ученых с целью доведения их до соответствующего научно-прикладного уровня;
✓ предварительный технологический аудит научных групп, с целью повышения рыночного спроса на результаты их фундаментальных и прикладных исследований;
✓ поиск новых форм зарождения и продвижения инновационно-технологического бизнеса, позволяющих получать конкретные результаты в условиях дефицита ресурса и жесткой рыночной конкуренции;
✓ изучения положительных историй продвижения на рынок научных разработок;
✓ обсуждения актуальных современных проблем науки и образования в России и странах ближнего зарубежья;
✓ формирование у академического ученого менталитета ученого-инноватора.

В общей сложности, проведено семь годичных сессий ШНИ. Выработаны формы межсессионного сотрудничества; ежегодно издаются материалы ШНИ в виде полнотекстовых статей, в том числе, часть публикаций представляется на английском языке. Накоплен определенный опыт взаимодействия. В настоящее время Школа превратилась в виртуальный инновационный кластер. В рамках постоянно действующего сотрудничества ученых, представляющих собой ведущие научные центры Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Чебоксар, Волгограда, Минска, Киева и других городов, произошло объединение научно-технологического потенциала и ресурсов. В работе школы, наряду с представителями инновационно-технологического бизнеса, регулярно участвуют признанные ученые, напрямую или косвенно, связанные с инновационной деятельностью. Привлекает стремление участников школы внести посильный вклад в увеличение экономической отдачи научных исследований. Основным интеллектуальным ядром ШНИ является программный комитет и экспертно-консультационный орган «Клуб профессорской мысли». В числе участников: 8 председателей докторских диссертационных советов, 16 руководителей научных конференций, 12 руководителей инновационных фирм, 1 представитель госкорпорации «Ростехнологии», 2 представителя венчурного капитала, 4 консультанта и преподавателя по инновационной деятельности; представители руководства 4-х вузов. Школа обладает эффективным кадровым потенциалом и научными заделами, которые могли бы лечь в основу пилотной программы «Региональные инновации для российской экономики» и отработку системы целевой фондовой поддержки инновационной деятельности. Вторым лауреатом в истории всех Школ конкурса «Оригинальный научный результат признан академик РАЕН, д.ф.-м.н., профессор В.В. Самарцев за обнаружение и объяснение явления «перепутанного» свободно-индуциро-ванного спада в кристалле сульфида кадмия в условиях двухфотонного возбуждения двумя скрещенными лазерными пучками. Пяти участникам Школы был вручен диплом почетного лектора Международной научной школы «Наука и инновации». Первыми лауреатами этого почетного звания стали профессора В.А. Голенищев-Кутузов, В.В. Самарцев, Р.Ф. Полищук, доцент Зелди И.П., генеральный директор АО НТЦ «Медасс» Д.В.

Участники ШНИ исходят из предпосылки, что независимость российской науки должна, в первую очередь, укреплять национальный технологический потенциал, экономическую и оборонную мощь России, во-вторых, формировать лидерство в определенных рыночных нишах и привлекательность для иностранных коллег. Растущая зависимость от зарубежных технологий, зачастую запускает в российское производство дорогие, но уже «вчерашние» для мира технологии. Предлагаемые из-за рубежа, инструменты коммерциализации знаний оставляют авторам прорывных знаний крохи от их внедрения на Западе и представляют угрозу национальной безопасности. Считаем, что не полностью оправдавшие себя инвестиции в т.н. «опережающую инновацию» через «Роснано» и РВК имели место вследствие слепого тиражирования в наших условиях западного менеджерского опыта. В тоже время, при значительной коррупционной составляющей в механизмах поддержки, вероятность банкротства или просто «не раскрутки» национальных «стартапов», с последующей перепродажей

технологического потенциала на покрытие убытков, без учета национальных интересов, очень велика. На наш взгляд, куда эффективнее было-бы вкладывать государственные средства в целенаправленное выращивание национального инновационного бизнеса путем формулирования задач на «предпосевной» стадии научным коллективам, с последующим финансированием адресной подготовки менеджеров по инновационной деятельности под конкретные проекты и технологическое вооружение предприятий на фазе «стартапа» с последующим привлечением частного партнерства и инвестиционного капитала. Одной из форм участия государства в решении эффективности инновационной деятельности могло бы стать формирований фондом для раскрутки бизнеса по перспективным рыночным продуктам, во многом опираясь на европейский опыт поддержки инновационной деятельности. Из опыта нашей страны, технологический прорыв подразумевает хорошо определенную задачу и согласованные средства. Чем ближе их источник от адресата, тем эффективнее вложение.

Для решения выше изложенных проблем участники школы предлагают:

1. Коренное переосмысление, ставшей архаической, организации российской науки и неэффективных в России, слепо перенесенных, зарубежных моделей поддержки НИОКР и венчурного финансирования, которое у нас трудноосуществимо или содержит коррупционную составляющую. С учетом мировых тенденций, укреплять интеллектуальную безопасность и независимость государства, которую легко потерять вследствие тотального «контроля» международных организаций нашей науки на этапе зарождения прорывных идей – глобализация удобна тем, кто контролирует её основные инструменты: финансы, информационные технологии, СМИ и знания.
2. Усилить в ВУЗах и НИИ роль научных коллективов, ставящих целью развитие прорывных технологических направлений, определенных Указом Президента РФ и вновь зарождающихся. Развивать формы коллективного пользования современной материально-технической научной базой путем выделения средств на научные командировки по грантам «Мобильность» (но не только для молодых ученых) для индивидуальных исследователей и научных коллективов, работающих на передовом научно-исследовательском фронте.
3. По актуальным направлениям развития науки и инноваций сформировать тематические, постоянно поддерживаемые и обновляемые электронные ресурсы, полученные с помощью современных библиометрических инструментов, доступные для широкого круга исследователей, специализирующихся в определенном направлении.
4. Приоритетным в оценке эффективности научной работы считать не количественные параметры цитирования ученых, а качественную новизну решения стоящих перед страной и рынком проблем. Неспроста более 70 % мировой научной информации создается и содержится в закрытом корпоративном режиме, а не в цитируемых научных журналах, которые лишь используются технологической разведкой крупных корпораций развитых стран для поиска её носителей и привлечения их в свою сферу. Другими словами, подавляющий объем публикуемой научной информации является пустой породой, а технологическую ценность представляют оригинальные разработки, необязательно публикуемые и тем более цитируемые.

Принимать во внимание цитируемость научных работ российских ученых в международных научных журналах, безусловно, следует. Только это не должно стать определяющим критерием финансовой поддержки науки и решения кадровых вопросов в вузах и академических институтах. Предметом публикации в научных журналах и последующего цитирования должны служить промежуточные результаты исследований для инициации дискуссии и научного диалога, а не технологические предпосылки знания. Следует менять культуру подачи информации учеными и фиксировать интеллектуальную собственность с учетом интересов национальной безопасности, национальных корпораций и создаваемого отечественного инновационно-технологического бизнеса. Качественно новые знания и определенная возможность их технологически прорывного применения должны обсуждаться лишь внутри корпоративной науки.

Государственная политика в области участия ученых в работе цитируемых международных научных журналов должна отвечать национальным интересам и решать следующие задачи:
✓ технологической разведки, включая борьбу за рыночные ниши;
✓ позиционирования российских ученых в мировой науке и подключения их к передовым научно-исследовательским фронтам;
✓ фиксации сторонних свежих научных идей;
✓ поиск и возврат на Родину ранее эмигрировавших лидеров мировой науки;
✓ привлечение к решению национальных научных программ лучших зарубежных умов и ресурсов, которыми они обладают.

4. Проводить мониторинг деятельности программ инновационного развития госкорпораций, инновационных подразделений вузов и других научных организаций не по освоенным средствам, а по внедренческим показателям: количество промышленных патентов или «ноу хау», созданных «стартапов», объем выведенной на рынки новой продукции, экономии по госзакупкам, решениям поставленных социальных, оборонных и технологических задач. Оценку капитализации знаний проводить по принятым мировой практикой методикам, адаптированным к российским условиям и отражающим национальные интересы. Возрастной ценз авторов инновационных проектов и преобладающее использование в них зарубежных технологий, практикуемые в АСИ, на наш взгляд, противоречат основополагающей идее создания этого организма.

5. Создание системного подхода к решению поставленных перед наукой задач. Эффективность зарубежной корпоративной науки связана с ее тесным взаимодействием с отделениями по изучению потребностей рынка и технологического прогнозирования («форсайт»). Известно, что традиционный подход связан с фрагментацией знаний в академической науке. Современный подход требует междисциплинарной интеграции для решения комплексных задач (например, ранней диагностики онкозаболеваемости, профилактики и эффективного лечения, экологических транспортных средств, энергоэффективности и т.п.).

6. Создать, постоянно действующие, коммуникационные механизмы, как связующие и аналитические звенья между наукой, подготовкой кадров и бизнесом, с функцией «перевода» языка науки на язык технологий. Это обеспечит успешность проведения курса на общепринятую тенденцию к «открытой инновации» или использованию внешних источников для зарождения инноваций в производственной сфере (формированию «инновационных бирж»).

7. Провести компанию учреждения в России международных двуязычных (русских и английских) научных журналов, рассчитываемых на получение информации с высоким импакт-фактором по перспективным научно-исследовательским фронтам. Они должны отвечать требованиям международного научного сообщества, но не размывать национальный научный потенциал правилами главенствующих международных изданий. Обеспечить государственную финансовую поддержку этих журналов на этапе их становления (3-5 лет).

8. Разработать отечественные многоязычные поисковые инструменты нового поколения для научно-технологической информации, полноценно замещающие международные инструменты оценки эффективности науки с учетом российских приоритетов, в то же время сопрягающиеся с ними.

9. Учредить международную премию (аналог Нобелевской премии) по решениям глобальных проблем человечества, вытекающим из национальной идеи России, как носителя духовности, международной стабильности и соборного единства. Лауреаты этой премии смогут выявляться по российским критериям цитирования и публикаций в двуязычных журналах.

10. С целью координации научных исследований, интеграции научного и технологического развития для решения стратегических национальных задач, эффективной коммерциализации инновационно-ориентированной продукции и равноправного вхождения в мировое научное сообщество создать в России единый системообразующий и направляющий компактный орган «Министерство по науке и технологической политике» – принципиально новый испол-

нительный институт государственного содействия науке и технологии, работающий исключительно на результаты, а не на бумагопроизводство.

Учитывая стратегическое значение научных знаний в современном мире, участники ШНИ ставят своей стратегической задачей развитие опыта по организации взаимодействия между наукой, производством и бизнесом, внесение своего посильного вклада в опережающее инновационное развитие общества для дальнейшего процветания России.

По итогам работы школы принято решение, в котором одобрены все развиваемые направления деятельности Школы и принято решение о проведении очередной VIII Международной научной школы «Наука и инновации 2013» с 6 по 12 июля 2013 г. в Республике Марий Эл на базе пансионата «Яльчик».

I. «ИННОВАТИКА»

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В КАЗАНСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Н. Ф. Кашапов, А. М. Галимов

Казанский (Приволжский) федеральный университет

В последнее время вопрос о роли ведущих университетов в становлении инновационной экономики обсуждается все больше и активнее. Особое значение эта тема приобретает в связи с одной из важных позиций, которая содержится в предвыборных статьях Владимира Владимировича Путина: в ходе формирования инновационной экономики в нашей стране упор будет сделан на ведущие университеты.

Но дело не только в этом, поскольку проблема приобрела глобальный характер. Показательно, что на Всемирном экономическом форуме в Давóсе, который проходил в январе этого года, остро стоял вопрос о новых моделях экономики в условиях той «великой трансформации», которую переживает современный мир.

Пытаясь ответить на вызовы времени, Президент США Барак Обама в марте этого года объявил о проекте создания сети национальных институтов по инновациям. Они должны объединить усилия университетов, колледжей, федеральных ведомств и промышленной сферы, а также государства. Главная задача – на основе инновационных решений создать рабочие места взамен тех, что были потеряны в результате экономического кризиса. Особое внимание уделяется тем университетским научным проектам, которые будут иметь коммерческое применение.

Евросоюз действует в этом же направлении: идёт работа над проектом Единой европейской научной зоны, так называемого «Союза инноваций», и программой развития инноваций «Горизонт – 2020». Французское правительство уже выделило 46 млрд. долларов на создание «центров инноваций», где важная роль отводится университетам.

Уровень безработицы среди молодежи в странах ЕС в прошлом году составил в Испании – свыше 44-х %, Греции – 36-ти, Португалии – 27-ми, а в Италии – порядка тридцати. В целом по странам ЕС этот показатель составляет около – 20% .

Если брать Россию, то безработица среди молодежи до 25 лет составила в этом году около 27-ми процентов. Основная причина, в основном, заключается в том, что индустриальная экономика не может предоставить должное количество мест выпускникам вузов.

Поэтому в декабре минувшего года была принята **Стратегия инновационного развития Российской Федерации до 2020 года** («Инновационная Россия – 2020»), а в январе текущего года утверждены «**Основные направления политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2020 года и дальнейшую перспективу»**. В стадии согласования находится проект Государственной программы «**Развитие науки и технологий»** до 2020 года. В Республике Татарстан в этом русле принят **Инновационный меморандум на 2011 – 2013 годы**. Необходимо подчеркнуть, что во все эти документы составлены с учётом заметной роли ведущих университетов в решении задач инновационного развития.

В Казанском (Приволжском) федеральном университет в рамках создания системы управления инновационной деятельностью выстроена организационная структура под управлением проректора по инновационной деятельностью (рис.).



Рис. Структура управленческих подразделений в области инновационной деятельности

Доминирующей формой взаимодействия университета с заказчиками научно-образовательных услуг являются Научно-образовательные центры (НОЦ):

- НОЦ «Технической физики и материаловедения» совместно с КФТИ КНЦ РАН;
- НОЦ «Облачные технологии и информационные системы" совместно с ОАО «ICL-КПО ВС»;
- НОЦ «Физики и механики энергетических процессов» совместно с ИММ КНЦ РАН
- НОЦ «По фармацевтике и биотехнологиям»;
- НОЦ "Современные спутниковые технологии»;
- НОЦ «Татаристики, тюркологии и этнокультурного образования»
- НОЦ «Социокультурных и полилингвальных исследований»
- НОЦ «Русистики и славяноведения»
- НОЦ «Квантовая оптика, нанофотоника и лазерная физика»
- НОЦ «Экстремальные задачи комплексного анализа и математической физики»
- НОЦ «им. И.А. Бодуэна де Куртенэ»
- НОЦ «Регуляция ответа клетки на стресс-факторы
- НОЦ «Резонансные свойства конденсированных сред»
- НОЦ «Современные геофизические технологии»
- НОЦ «По изучению проблем адаптации растущего организма»
- НОЦ «Компьютерного моделирования экономики»
- НОЦ «Предпринимательства и маркетинга»
- НОЦ «Креативного мышления»
- НОЦ «Фармацевтики»

Важно отметить, что НОЦ как организационная форма реализует ключевую для инновационной деятельности функцию – подготовку современно мыслящих предпринимателей из числа студентов старших курсов, аспирантов, молодых учёных, которые способны не только

активно содействовать внедрению в производство результатов научных исследований, но и обеспечить их преемственность в развитии научно-производственного комплекса университета. Особые надежды мы возлагаем на малые инновационные предприятия (МИПы), которые были созданы в рамках выполнения постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 219 «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования». Сегодня из запланированных по гранту 35-ти МИПов нами организовано уже 22, которые специализируются в различных областях: экология, биотехнологии, медицина, приборостроение, информационные технологии, лазерные технологии и других.

Об их состоятельности можно судить хотя бы по тому, что общая сумма финансовой поддержки их проектов составляет порядка 30 млн. рублей. Речь идёт о поддержке со стороны Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Инвестиционно-венчурного фонда РТ и Агентства инновационного развития РТ, – в рамках программы «Идея – 1000», молодёжного инновационного проекта, проекта «Ползуновские гранты» и других.

МИПы – это самостоятельные хозяйствующие субъекты с правом юридического лица. Их основная функция – реализация инновационных разработок научных коллективов университета для производства наукоемкой продукции (технологий, товаров, услуг). Приборно-лабораторной базой вуза они пользуются на основе договорных отношений с КФУ.

Выигранные КФУ мегагранты касаются не только создания МИПов, – мы победили во всех грантовых конкурсах. Согласно 218-му постановлению Правительства КФУ реализует инновационные проекты с такими фирмами как ОАО «ТНГ-групп», ОАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «Тасма». Для разработки новых технологических решений и внедрения их в производство мы разворачиваем работу по созданию с этими предприятиями совместных лабораторий, кафедр, научно-производственных центров.

Знаковым для КФУ является приглашение в университет – по результатам конкурса в рамках 220-го постановления – крупного специалиста из Средиземноморского института нейробиологии в Марселе Рустема Наримановича Хазипова. Он создаст в КФУ лабораторию нейрофизиологии и нейропатологии мозга на ранних этапах его развития.

О формировании в университете конкурентоспособного научно-производственного комплекса свидетельствует также участие КФУ в программе ФАРМА – 2020, в рамках которой будут созданы НОЦ и опытное производство. Это отвечает такому приоритетному направлению нашего развития, как фундаментальная медицина и фармакология. Подведению под всё это дело мощной приборно-лабораторной базы служит приобретение университетом производственных площадей здания Всероссийского научно-исследовательского проектного института медицинских изделий.

Фондом «Сколково» в рамках кластера биологических и медицинских технологий поддержан проект, связанный с очисткой почв, загрязнённых нефтью и топливом. Этот проект первым в нашем университете отобран экспертами «Сколково».

В КФУ существует система стимулов, которая создана для поддержки инновационной деятельности. Она включает, в частности:

• конкурс «10 лучших идей КФУ»

• зарубежные стажировки для преподавателей, сотрудников и руководителей МИПов

• открытие МИПов, закупка оборудования для их проектов, бухгалтерское сопровождение их деятельности и т.д.

• организацию маркетинговых исследований и оценка коммерческой привлекательности проектов

• разработку и реализацию дополнительных образовательных программ по темам управления интеллектуальной собственностью и трансфера технологий, и другое.

II. «САТЕЛЛИТНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО КОГЕРЕНТНОЙ И КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ»

Посвящается памяти профессора И.В. Евсеева

МАКЕТ ИСТОЧНИКА ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА ОСНОВЕ СПР В КРИСТАЛЛАХ С РЕГУЛЯРНОЙ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В РЕЗОНАТОРЕ

М. В. Бабич[2], А. А. Калачев[1], И. З. Латыпов[1], В. В. Самарцев[1,2], А. В. Шкаликов[1]

[1]Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского Казанского научного центра РАН
[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: andrei_vs@rambler.ru

В последнее время методы генерации одиночных фотонов вызывают большой интерес. В первую очередь этот интерес связан с тем, что фотоны используются в различных областях современной квантовой оптики и информатики. Для практического применения в той или иной области необходимо уметь получать однофотонные состояния электромагнитного поля с заданными параметрами. В работе рассматривается возможность создания управляемого детерминированного однофотонного источника на основе явлении спонтанного параметрического рассеяния (СПР) света и возможности сужения спектра СПР в кристаллах с периодической модуляцией нелинейности в резонаторе без использования методов пассивной фильтрации.

1. Введение. Наибольшее внимание при исследованиях в области квантовой криптографии и оптических квантовых вычислений [1], как правило, уделяется ширине спектра однофотонного волнового пакета. Это связано с тем, что наиболее перспективными в настоящее время считаются устройства, основанные на взаимодействии фотонов с резонансными многоатомными системами. Поэтому необходимы однофотонные источники, способные генерировать фотоны с шириной спектра соответствующей ширине линии поглощения резонансной среды, которая при комнатной температуре не превышает сотен МГц. В последние годы интерес в таких исследованиях смещается в сторону изучения методов генерации фотонов, основанных на спонтанном параметрическом рассеянии света в высокодобротном резонаторе [2,3]. Данный подход позволяет перераспределять энергию широкополосного СПР в набор узких резонаторных мод и существенно повышать яркость источника. Еще одной важной тенденцией в развитии современной науки, в первую очередь в области квантовой криптографии и связи, является получение фотонов в строго определенные моменты времени. Предельным случаем является разработка детерминированных однофотонных источников, когда генерация фотонов происходит периодически, через равные промежутки времени. В случае СПР рождение фотонов происходит в случайный момент времени. Кроме того, с точки зрения идеального однофотонного источника, СПР обладает еще одним недостатком, который заключается в том, что всегда есть отличная от нуля вероятность рождения более одной пары фотонов за импульс, растущая с увеличением интенсивности лазера накачки. Существование состояний с несколькими фотонами в импульсе является слабым местом во всех протоколах квантовой передачи информации, и, в общем случае, характеризует качество однофотонного источника. Однако оба этих недостатка можно нивелировать, если увеличивать вероятность параметрического рассеяния не за счёт мощности накачки, а за счёт увеличения числа таких элементарных источников при постоянной мощности накачки. В этом и состоит идея мультиплексирования [4], которая может быть двух видов: пространственная и временная. В случае пространственного мультиплексирования используется несколько кристаллов, излучение из которых контролируется и собирается на выходе при помощи детекторов и маршрутизатора. Аналогичным образом, для получения одного фотона можно вместо нескольких кристаллов использовать несколько возбуждающих импульсов, действующих на один кристалл, добавив ещё управляемую линию задержки на выходе. В этом случае получается временное мультиплексирование.

2. О модели узкополосного источника с использованием временного мультиплексирования. Схема первого источника на основе СПР была предложена Д. Н. Клышко еще в 1977 г. [5]. В основе такого источника лежит корреляция сигнального и холостого фотонов. В процессе СПР плоская волна накачки с частотой ωр и волновым вектором $\bar{k}_p$ возбуждает квадратично нелинейный кристалл, в котором случайным образом (с эффективностью порядка $10^{-7} – 10^{-11}$) происходит уничтожение высокочастотного фотона накачки (p) и одновременное рождение двух низкочастотных фотонов, называемых, соответственно, холостым (i) и сигнальным (s). Детектирование сигнального означает существование холостого в другом канале, что позволяет производить над вторым фотоном необходимые манипуляции. Процесс СПР дает возможность генерации фотонов в широком спектральном диапазоне и в широком диапазоне длительностей (от пс до сотен нс), возможность управления формой и спектром однофотонных импульсов. В процессе СПР в кристалле KTP в случае накачки второй гармоникой лазера на ИАГ (532 нм), когда сигнальный фотон имеет длину волны, близкую к видимому диапазону (810 нм), т.е. предоставляет возможность детектировать с вероятностью 70% современными фотодетекторами. Второй холостой фотон имеет длину волны, соответствующую окну прозрачности оптоволокна (1550 нм) т.е. может быть передан на дальнее расстояние. То такой вариант является очень перспективным для создания на его основе однофотонных источников. Следующим шагом на пути к созданию идеального однофотонного источника является уменьшение числа многофотонных состояний в импульсе. Наиболее успешно в наше время решить эту задачу позволяет временное мультиплексирование. Поскольку, в отличие от пространственного мультиплексирования, где разделение пучка накачки на десятки-сотни каналов создает технические сложности, во временном мультиплексировании не составит труда создать столько же импульсов.

Для создания эффективных и ярких источников необходимо повысить эффективность параметрического рассеяния. Впервые идею эффективной передачи энергии высказал Армстронг с соавторами в 1962 году [6]. Фазовый квазисинхронизм основан на пространственной модуляции и реализуется в нелинейных кристаллах путем периодического изменения их эффективной нелинейности. Суть явления состоит в том, что когда расстройка между разными фазовыми скоростями взаимодействующих волн достигает значения π, то изменение знака нелинейной восприимчивости на противоположенный приводит к тому, что фазовая расстройка аннулируется. Использование фазового квазисинхронизма в нелинейных процессах имеет многочисленное преимущество над обычным фазовым синхронизмом. Наиболее важным является возможность настроить материал для синхронизации нелинейных процессов простым выбором соответствующего периода модуляции. Кроме того, можно реализовать фазовый синхронизм для случая, когда все взаимодействующие волны распространяются вдоль оптической оси кристалла, исключая, таким образом, двойное лучепреломление, которое ограничивает размер области взаимодействия волн в обычных условиях синхронизма.

3. Методы сужения спектра однофотонных состояний. В случае узкополосной накачки состояние поля на выходе из нелинейного кристалла можно представить в виде:

$$\left|\psi\right\rangle = \left|vac\right\rangle + \int d\bar{k}_s d\bar{k}_i \int dz e^{i\Delta(\bar{k}_i,\bar{k}_s)z} \alpha^+_{\bar{k}_s} \alpha^+_{\bar{k}_i} \left|0\right\rangle \quad (1)$$

Спектральные и угловые особенности такого поля определяются форм-фактором

$$F(\Delta k) = \int dz e^{i\Delta k} z, \quad (2)$$

а ширина спектра на полувысоте определяется условием: $\Delta k = \frac{2\pi}{L}$. Таким образом, ширина спектра зависит не только от волновой расстройки, но еще и от длины кристалла.

В случае, когда фотоны коллинеарны, интеграл (2) принимает вид:

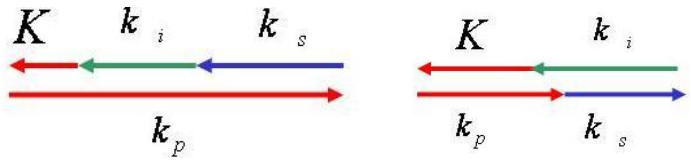
$$F(\Delta k) = \int dz e^{-i\Delta k} z = \int dz e^{-i(k_p(\omega)-k_s(\omega)-k_i(\omega))z} = Lh(L\Delta k), \quad (3)$$

где h – это функция, имеющая вид $h(x) = \frac{1-e^{-ix}}{ix} = e^{-i\frac{x}{2}} \sin c \frac{x}{2}.$ (4)

$Lh(L\Delta k)$ определяет ширину спектра двухфотонного состояния. В случае, когда длина кристалла бесконечна, выражение (3) становится дельта-функцией, гарантирующей точное выполнение условия фазового синхронизма: $\vec{k}_p(\omega) - \vec{k}_s(\omega) - \vec{k}_i(\omega) = 0.$ Для реальной среды, имеющей конечные размеры, получаем конечную ширину коллинеарного СПР. А спектральная амплитуда бифотона пропорциональна следующей величине

$$\left|F(\Delta k)\right|^2 = \sin c^2 \frac{\nu LS}{2} \quad (5)$$

В данной работе все вычисления проводились для кристалла KTP (титанил-фосфат калия) и для $LiNbO_3$ (ниобат лития). Длина волны накачки была выбрана 532 нм, а длина волны сигнального и холостого – 810 нм и 1550 нм соответственно. Такой выбор, как было отмечено выше, обусловлен тем, что фотоны первого типа (810 нм) можно эффективно детектировать в процессе условного приготовления фотонов второго типа, длина волны которых соответствует окну прозрачности оптоволокна (1550 нм). Ширина спектра, рассчитанная формуле (5) для СПР в кристалле KTP для невырожденного режима, соответствует нескольким ТГц, поэтому такой источник СПР не является узкополосным и не удовлетворяет требованиям, связанным с применением однофотонных состояний в сочетании с устройствами оптической квантовой памяти. Фазовый квазисинхронизм является перспективным методом сужения спектра в случае, когда сигнальный и холостой фотоны разлетаются в противоположенных направлениях. В периодически поляризованных кристаллах генерация фотонов в таком режиме была предсказана в 1966 [7], а в 2002 году теория была обобщена на случай периодически поляризованных волноводов [8]. Оценим теперь ширину спектра СПР для периодически поляризованных титанил-фосфата калия (PPKTP) и ниобата лития($PPLiNbO_3$). Будем параллельно рассматривать два случая. Первый случай – это когда фотоны летят в одном направлении (forward direction – сокращенно fwd), второй – в противоположенных (backward direction – сокращенно bwd), как показано на рис. 1.



А) Б)

Рис. 1. – Коллинеарный квазисинхронизм СПР: А) когда фотоны летят в одном направлении, Б) в противоположных направлениях

Вектор состояния в обоих случаях имеет вид:

$\left|\psi\right\rangle = \left|vac\right\rangle + AdL\int d\nu \times h(L\Delta k_j)\alpha_s^+(\Omega_s + \nu)\alpha_i^+(\Omega_i - \nu)\left|0\right\rangle$, где

$$d = \frac{2}{m\pi}\sin\frac{m\pi}{2}\sin(mD\pi), \quad (6)$$

$$A = \frac{iE_p}{2c}\sqrt{\frac{\Omega_S\Omega_i}{n_S n_i}} \quad (7)$$

Индекс j принимает два значения: *fwd* и *bwd*, для которых

$$\Delta k_{fwd} = k_p(\omega) - k_s(\omega) - k_i(\omega) - K, \quad (8)$$

$$\Delta k_{bwd} = k_p(\omega) - k_s(\omega) + k_i(\omega) - K, \quad (9)$$

а ширина спектра определяется по формуле (5), где:

$$\Delta k_{fwd} = -\nu S_{fwd},\ S_{fwd} = \left[\frac{1}{u(\Omega_s)} - \frac{1}{u(\Omega_i)}\right] \quad (10)$$

$$\Delta k_{bwd} = -\nu S_{bwd},\ S_{bwd} = \left[\frac{1}{u(\Omega_s)} + \frac{1}{u(\Omega_i)}\right] \quad (11)$$

Результаты расчета периода модуляции $\Lambda = 2\pi / K$, удовлетворяющие условию квазисинхронизма для кристаллов $PPLiNbO_3$ и PPKTP, и ширина спектра СПР приведены в табл.

Таблица

Результаты расчета периода модуляции нелинейности для кристаллов $PPLiNbO_3$ и PPKTP и ширины спектра СПР для двух случаев: генерация фотонов в одном направлении (fwd) и в противоположных (bwd)

	Период, мкм	Ширина спектра, ГГц	Отношение $\Delta\omega_{fwd} / \Delta\omega_{bwd}$
$PPLiNbO_3$	$\Lambda_{fwd} = 22.9$	$\Delta\omega_{fwd} = 795$	38
	$\Lambda_{bwd} = 0.35$	$\Delta\omega_{bwd} = 21.0$	
PPKTP	$\Lambda_{fwd} = 43.9$	$\Delta\omega_{fwd} = 1578.7$	60
	$\Lambda_{bwd} = 0.42$	$\Delta\omega_{bwd} = 26.38$	

Дальнейшее сужение спектра СПР в таких кристаллах возможно при помещении их в оптический резонатор. Перспективной является схема с однорезонаторным параметрическим генератором, которая не требует жесткой стабилизации по температуре и позволяет создавать фотоны с управляемой временной формой [3,10].

В случае, когда резонатор усиливает сигнальный фотон, а из резонатора выводится холостой, оператор рождения для сигнального фотона принимает вид:

$$\alpha_s^{+out}(\omega) = \sqrt{\frac{c}{p}}\frac{\sqrt{\Gamma}}{\nu + i\Gamma/2}\alpha_s^{+in} = D_s(\nu)\alpha_s^{+in}, \quad (12)$$

где $\Gamma = ct^2 / p$ – полуширина моды резонатора (p – оптическая длина пути, соответствующая полному обходу резонатора и учитывающая все изменения показателей преломления внутри резонатора). На рис. 2 приведена схема однорезонаторного ПГС, используемая для получения однофотонных состояний. В данном случае предполагается СПР второго типа, где фотоны можно разделить поляризационным светоделителем.

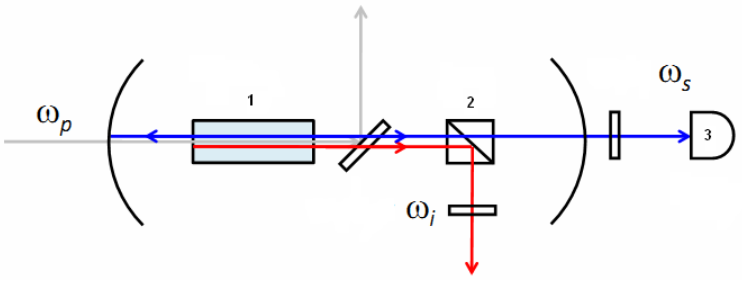


Рис. 2. Однорезонаторный режим СПР. 1 –нелинейный кристалл, 2 – поляризационный светоделитель, 3 – детектор.

Таким образом, для однорезонаторого параметрического генератора имеем следующий вектор состояния:

$$|\psi\rangle = |0\rangle + \int_{-\infty}^{+\infty} d\nu F(\nu) D_s(\nu)\alpha_s^+(\Omega_s + \nu)\alpha_i^+(\Omega_i - \nu)|0\rangle. \quad (13)$$

Здесь $D_s(\nu) = \sqrt{\frac{c}{p}}\frac{\sqrt{\Gamma}}{\nu + i\Gamma/2}$, когда есть резонатор или $D_s(\nu) = 1$ в случае его отсутствия.

Предположим, что резонатор длиной l полностью заполнен нелинейной средой, т.е. отражающие поверхности находятся на торцах кристалла. Тогда собственные моды резонатора можно рассчитать по формуле: $\omega_m \approx \omega_s + m\frac{\pi u_s}{l}$, где u_s – групповая скорость сигнального фотона на центральной частоте ω_s (в данном случае центральная длина волны 810 нм).

Групповая скорость определяется по формуле: $u_S = \frac{c}{n_S + \omega_S \left.\frac{\partial n_S}{\partial \omega}\right|_{\omega=\omega_S}}$.

Исходя из того, что обычно длина кристалла равна 20 мм. Тогда для кристалла PPKTP имеем расстояние между модами резонатора $\Delta\omega_{рез}$=26,83ГГц, а для PPLiNbO$_3$ $\Delta\omega_{рез}$=17,25 ГГц. Если сравнить эти значения со значениями из таблицы 1, видно, что для кристалла PPKTP межмодовый интервал больше, чем ширина спектра СПР, а для кристалла PPLiNbO$_3$ – наоборот, меньше. На рис. 3 и 4 показано, как расположены моды относительно спектра СПР для обоих кристаллов в том случае, когда одна из них настроена на центр спектра СПР. Допустим, что нас интересует генерация однофотонных состояний на этой моде.

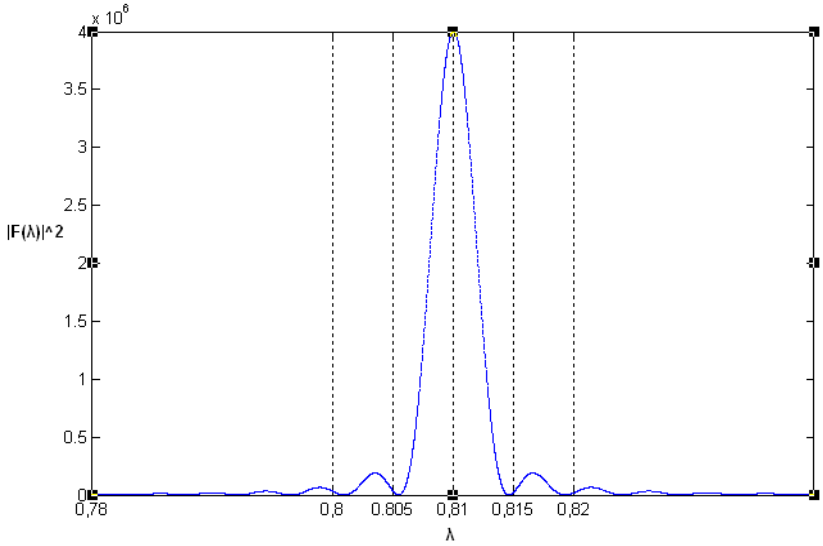


Рис. 3. Спектр сигнального фотона в кристалле PPKTP, Λ = 0.42 мкм. Пунктиром показаны положения мод параметрического генератора

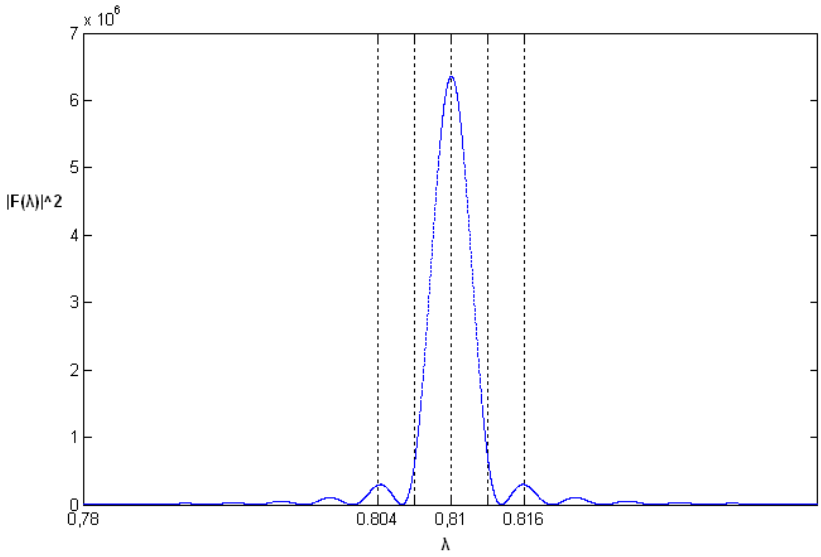


Рис. 4. Спектр сигнального фотона в кристалле PPLiNbO$_3$, Λ = 0.35 мкм. Пунктиром показаны положения мод параметрического генератора

Видно, что вклад соседних мод в случае кристалла ниобата лития получается значительный, так что для его уменьшения необходимо использовать дополнительные фильтры. Наличие фильтров, как правило, приводит к снижению скорости генерации и на центральной моде. Однако в случае кристалла PPKTP соседние моды оказываются существенно ближе к минимумам спектра СПР. Кроме того, межмодовое расстояние оказывается больше, чем расстояние до первых нулей функции, описывающей фазовый синхронизм. Поэтому, увеличивая длину резонатора при заданном размере кристалла можно настроить спектр мод таким образом, чтобы ближайшие соседние моды попадали на нули спектра СПР. В результате данный кристалл

можно использовать в однорезонаторном режиме СПР без пассивной фильтрации. Оценка соотношения интенсивности СПР на центральной моде и ближайших соседних модах для случая, когда зеркала резонатора совпадают с гранями кристалла, дает следующий результат: для кристалла PPKTP: $I_0 / I_1 = 4000$; для кристалла $PPLiNbO_3$: $I_0 / I_1 = 10{,}15$, где I_0 – интенсивность на центральной моде резонатора, соответствующей максимуму СПР, а I_1 – на соседней. Получается, что 0,025% – вклад в СПР от соседней моды для PPKTP, и 9,85 % для $PPLiNbO_3$. На рис. 5 и 6 показана зависимость вклада соседней моды в спектр СПР (в процентах) от расстояния между модами резонатора для обоих кристаллов. Как было отмечено выше, увеличение размера резонатора по сравнению с размером кристалла в случае $PPLiNbO_3$ ведет только к увеличению вклада соседних мод, согласно зависимости, изображенной на рис. 5.

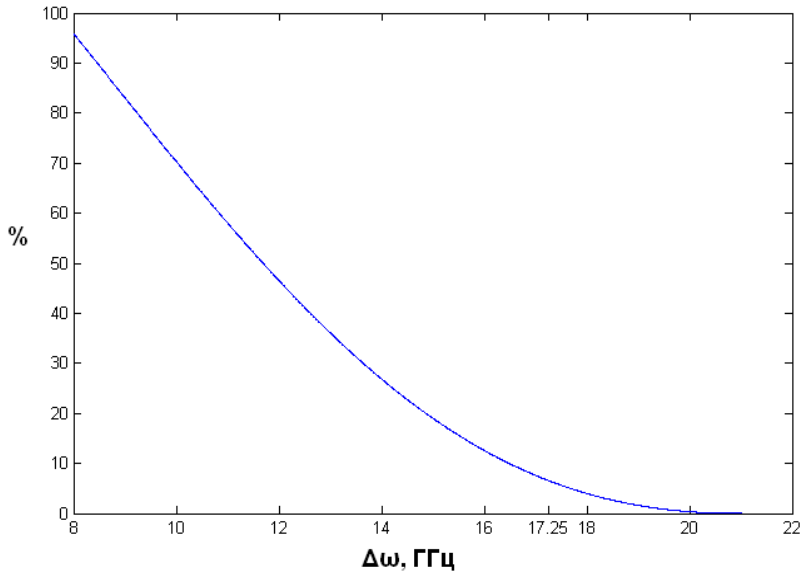


Рис. 5. Зависимость вклада соседней моды в спектр СПР (в процентах) от расстояния между модами резонатора для $PPLiNbO_3$

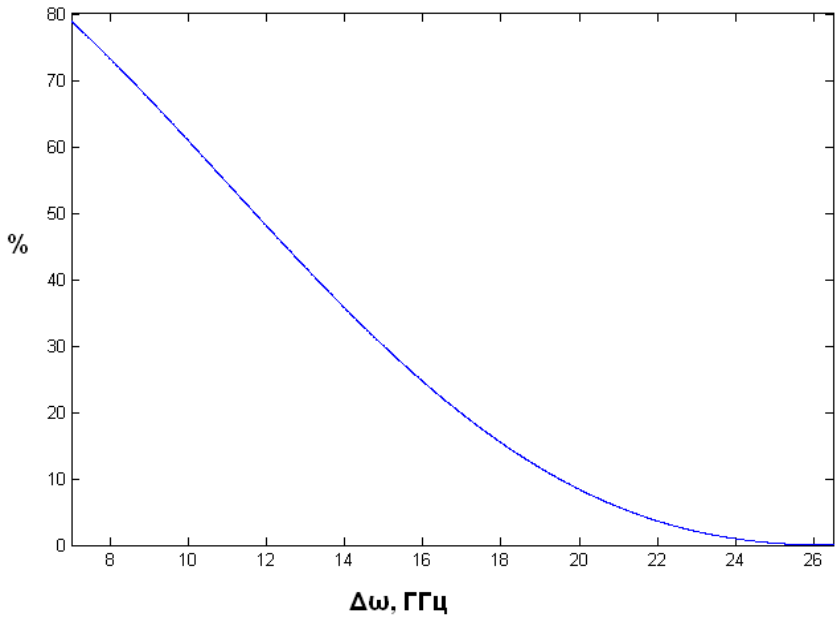


Рис. 6. Зависимость вклада соседней моды в спектр СПР (в процентах) от расстояния между модами резонатора для PPKTP

В случае кристалла PPKTP можно добиться того, чтобы моды резонатора точно попадали на минимумы функции спектральной интенсивности СПР, и, таким образом, свести к минимуму вклад от соседних мод. Для него необходимо уменьшить расстояние между модами на 0.45 ГГц, а это легко делается путем правильного подбора длины резонатора. Расстояние между модами рассчитывается по формуле: $\Delta\omega_{рез} = \frac{\pi c}{p}$, где p – это оптическая длина, учитывающая все изменения показателей преломления внутри резонатора. Подразумеваем, что длину резонатора будем

увеличивать за счет дополнительной прослойки воздуха, т.е. отодвинем одно зеркало от торца на расстояние $L_в$, то получим оптическую длину пути: $p = n_s L + n_в L_в$. Здесь $n_в$ означает показатель преломления воздуха. Таким образом, для кристалла PPKTP необходимо увеличить длину резонатора на 0.59 мм, чтобы точно попасть в минимумы функции (32), которая описывает спектр СПР. В этом случае вклад соседних мод в интенсивность СПР зависит от ширины моды и стремится к нулю при увеличении резкости резонатора. Расчеты дают следующие оценки: 0,015 % при резкости резонатора 30; 0,002% – при резкости 100 и пренебрежимо мал при резкости 300.

4. Заключение. Проанализированы принципы работы однофотонного источника на основе спонтанного параметрического рассеяния, а также СПР в кристаллах с периодической модуляцией нелинейности. Показано, что ширина спектра СПР для кристаллов $PPLiNbO_3$ и PPKTP длиной 20 мм, в случае, когда сигнальный и холостой фотон испускаются в противоположенных направлениях, составляет 21 ГГц и 26,38 ГГц, соответственно, что в 40 и 60 раз меньше, чем в случае обычного СПР. Показано, что в однорезонаторном ПГС, на основе указанных кристаллов, величина свободной спектральной зоны (области дисперсии) составляет 17,25 ГГц и 26,83 ГГц. Таким образом, из двух рассматриваемых кристаллов только PPKTP позволяет реализовать СПР с шириной спектра меньше межмодового расстояния и избежать пассивной фильтрации.

Сделаны оценки относительной интенсивности СПР на центральной моде ПГС, соответствующей центру линии СПР, и на соседних модах. Показано, что при достаточно высокой резкости резонатора (порядка 100) и при оптимальном размере резонатора, когда частоты соседних попадают в минимумы спектра СПР, вклад соседних мод в интенсивность СПР получается не более 0,002 %. Эта величина соответствует высокой степени качества однофотонного состояния, приготавливаемого без использования пассивной фильтрации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-02-00878-а,12-02-00651а, 10-02-00173а, 11-02-00040а, 12-02-9000бел-а) Программы Президиума РАН "<Квантовая физика конденсированных сред">, а также грантом Президента РФ МК-4277.2011.2.

Список литературы

1. Л. Мандель, Э. Вольф *Оптическая когерентность и квантовая оптика*: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Самарцева – М. Наука, Физматлит (2000) – 896с.
2. И.З.Латыпов, А.В.Шкаликов, А.А.Калинкин,А.А.Калачев, В.В.Самарцев и др. в кн.: *Наука и инновации – 2010*, МарГУ, Йошкар-Ола (2010) 421
3. А. А. Калачев. *ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ* **109** №1 (2010) 34–42
4. A. L. Migdall, D. Branning, and S. Castelletto *Phys. Rev. A* **66** (2002) 053805
5. D.N.Klyshko *Sov.J.Quantum Electronics* **7** (1977) 591
6. J.A. Armstrong, N. Bloembergen, J. Ducuing, and P.S. Pershan *Phys. Rev. Lett.* **127** (1962) 1918-1939
7. S. E. Harris *Appl. Phys. Lett*. **9** (1966) 114–116
8. A. De Rossi, V. Berger *Phys.Rev.Lett*. **88** (2002) 043901
10. A. Kalachev *Phys. Rev. A* **78** (2008) 04381

УДК 535, 538.9

ДВУМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВИХРИ И БРИЗЕРЫ В МАССИВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

М. Б. Белоненко[1], Э. Г. Федоров[2]

[1] *Волгоградский институт бизнеса, 400048 Волгоград, Россия*
e-mail: mbelonenko@yandex.ru

[2] *Волгоградский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации, 400002 Волгоград, Россия*
e-mail: eduard-f@mail.ru

Исследовано распространение двумерного биполярного электромагнитного импульса в массиве полупроводниковых углеродных нанотрубок. Электромагнитное поле в массиве нанотрубок описано с помощью уравнений Максвелла, сведенных к неодномерному волновому уравнению. Начальное распределение поля задано в виде вихрей или бризеров уравнения sine-Gordon, ограниченных гауссианой в плоскости, перпендикулярной направлению распространения импульса. В результате численного решения волнового уравнения показана возможность распространения электромагнитного вихря и электромагнитного бризера в массиве нанотрубок. Выяснен характер эволюции формы вихря и формы бризера, получена зависимость их амплитуды от времени. Установлено, что распространяющийся в массиве нанотрубок бризер устойчив к расплыванию и может перемещаться на расстояние $\sim 10^{-3} \div 10^{-2}$ см.

1. Введение. В настоящее время в качестве объектов, перспективных для использования при создании элементной базы современной наноэлектроники, рассматриваются углеродные нанотрубки – квазиодномерные макромолекулы углерода [1]. Нелинейность закона дисперсии электронов нанотрубок обусловливает наличие у них широкого спектра свойств, которые могут наблюдаться в полях умеренных напряженностей $\approx 10^3 \div 10^5$ В/см (см., например, работы [2, 3] и ссылки в них). Данное обстоятельство, а также успехи лазерной физики в области формирования мощного электромагнитного излучения с заданными параметрами (см., например, [4]) явились стимулом для всесторонних исследований электронных и оптических свойств нанотрубок в присутствии электромагнитных полей. В частности, серия работ [5–9] посвящена изучению распространения предельно коротких электромагнитных импульсов в массивах нанотрубок. В работах [5, 6] установлена возможность распространения в массиве нанотрубок уединенных электромагнитных волн – солитонов, исследованы их характеристики в зависимости от диаметра нанотрубок. В [7, 8] изучена динамика периодического цуга электромагнитных импульсов и индуцируемых ими доменов тока, а также рассмотрено затухание электромагнитных импульсов при их распространении в массиве нанотрубок.

Однако остается ряд вопросов, касающихся распространения волн в нанотрубках, требующих дальнейшего изучения в связи с возможностью обнаружения качественно новых эффектов, которые могут представлять интерес с прикладной точки зрения. В частности, это вопросы, связанные с выходом за рамки одномерной модели, учетом поперечной дисперсии при изучении динамики электромагнитных волн. Например, в работе [9] установлена возможность распространения в массиве нанотрубок цилиндрически-симметричных электромагнитных волн, эволюция которых схожа с динамикой пульсонов, описанных в [10]. В работе [11] теоретически исследована возможность распространения «световых пуль» – двумерных бегущих уединенных электромагнитных волн, а в [12] изучены особенности их взаимодействия с неоднородностями в массивах нанотрубок.

Необходимо отметить, что в работах [9-12] рассматривалось взаимодействие однополярных двумерных электромагнитных импульсов со средой массива нанотрубок. Однако известно, что в некоторых нелинейных средах возможно существование и биполярных уеди-

ненных волн, распространение которых может обусловить возникновение ряда интересных физических эффектов. В этой связи представляется целесообразным изучение возможности и особенностей распространения двумерного биполярного лазерного импульса в массиве полупроводниковых углеродных нанотрубок.

Актуальность рассмотрения данного круга вопросов очевидна в свете решения ряда перспективных задач современной оптоэлектроники, заключающихся в разработке устройств управления полем лазерного излучения, создании элементной базы систем оптической обработки информации и пр.

2. Основные соотношения и волновое уравнение

Рассмотрим распространение уединенной электромагнитной волны (лазерного импульса) в объемном массиве однослойных полупроводниковых углеродных нанотрубок типа «zigzag» $(m, 0)$, где число m (не кратное трем) определяет радиус нанотрубки $R = \frac{bm}{2\pi}\sqrt{3}$, b – расстояние между соседними атомами углерода [2]. Будем считать, что нанотрубки помещены в однородный диэлектрик, оси нанотрубок параллельны общей оси Ox, а расстояния между соседними нанотрубками велики по сравнению с их диаметром, что позволяет пренебречь взаимодействием между нанотрубками [13].

Закон дисперсии электронов проводимости углеродных нанотрубок в выбранной нами геометрии имеет вид

$$\Delta(p_x, s) = \gamma_0 \sqrt{1 + 4\cos\left(p_x \frac{d_x}{\hbar}\right)\cos\left(\pi\frac{s}{m}\right) + 4\cos^2\left(\pi\frac{s}{m}\right)}, \qquad (1)$$

где квазиимпульс электрона задается как $\mathbf{p} = \{p_x, s\}$, s – число, характеризующее квантование импульса вдоль периметра нанотрубки ($s = 1, 2, ..., m$), γ_0 – интеграл перекрытия, $d_x = 3b/2$ [2].

Положим, что лазерный импульс распространяется в направлении, перпендикулярном осям нанотрубок (в выбранной геометрии – вдоль оси Oz), а электрическое поле импульса $\mathbf{E} = \{E(y, z, t), 0, 0\}$ ориентировано вдоль оси Ox. Будем считать, что характерная длительность импульса T_S удовлетворяет условию $T_S << t_{rel}$ (t_{rel} – время релаксации), что позволяет использовать бесстолкновительное приближение при описании эволюции поля волны [5].

Электромагнитное поле в массиве нанотрубок будем описывать посредством уравнений Максвелла [14], из которых в выбранной геометрии следует уравнение

$$\frac{\varepsilon}{c^2}\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} - \frac{4\pi}{c} j = 0, \qquad (2)$$

где $A(y, z, t)$ и $j(y, z, t)$ – соответственно проекции векторного потенциала $\mathbf{A} = \{A, 0, 0\}$ и плотности тока проводимости $\mathbf{j} = \{j, 0, 0\}$ на ось Ox, ε – диэлектрическая проницаемость среды, c – скорость света в вакууме, электрическое поле лазерного импульса определяется известным соотношением $\mathbf{E} = -c^{-1}\partial\mathbf{A}/\partial t$ [15].

Электрическое поле электромагнитного импульса вдоль оси Ox считаем однородным. Отметим, что неоднородность поля вдоль оси Ox может привести к накоплению электрического заряда, и соответственно, к необходимости учета поля этого заряда, что представляет отдельную задачу, не рассматриваемую в данной работе.

Определим плотность тока проводимости в массиве углеродных нанотрубок, следуя подходу, развитому в работе [16]. Представив электронный энергетический спектр (1) в виде ряда Фурье, запишем выражение для проекции плотности тока на ось Ox в бесстолкновительном приближении:

$$j = -en_0 \frac{d_x}{\hbar}\gamma_0 \sum_{s=1}^{m}\sum_{\alpha=1}^{\infty} G_{\alpha,s} \sin\left(\alpha \frac{ed_x}{c\hbar} A\right), \qquad (3)$$

где e – модуль заряда электрона, n_0 – концентрация электронов проводимости в массиве нанотрубок,

$$G_{\alpha,s} = -\alpha \frac{\delta_{\alpha,s}}{\gamma_0} \frac{\int_{-\pi}^{\pi} \cos(\alpha\xi)\exp\left[-\sum_{\alpha=1}^{\infty}\theta_{\alpha,s}\cos(\alpha\xi)\right]d\xi}{\int_{-\pi}^{\pi}\exp\left[-\sum_{\alpha=1}^{\infty}\theta_{\alpha,s}\cos(\alpha\xi)\right]d\xi}, \qquad (4)$$

$\theta_{\alpha,s} = \delta_{\alpha,s}(k_B T)^{-1}$, k_B – постоянная Больцмана, T – температура, $\delta_{\alpha,s}$ – коэффициенты в разложении спектра (1) в ряд Фурье [17],

$$\delta_{\alpha,s} = \frac{d_x}{\pi\hbar}\int_{-\pi\hbar/d_x}^{\pi\hbar/d_x} \Delta(p_x, s)\cos\left(\alpha \frac{d_x}{\hbar} p_x\right)dp_x . \qquad (5)$$

Заметим, что в формуле (3) плотность тока явным образом зависит от векторного потенциала $\mathbf{A}$. Следовательно, могло бы возникнуть предположение о том, что изменение векторного потенциала на постоянную величину (что не приводит ни к каким физическим следствиям) обусловливает изменение плотности тока. Однако, на самом деле, подобного не происходит, поскольку при выводе формулы (3) считалось, что векторный потенциал $\mathbf{A}$ в начальный момент времени имеет нулевое значение, что фиксирует его выбор.

Подстановка выражения для тока проводимости (3) в уравнение (2) позволяет получить волновое уравнение, описывающее эволюцию поля в массиве нанотрубок:

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial\tau^2} - \left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial\upsilon^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial\zeta^2}\right) + \sum_{s=1}^{m}\sum_{\alpha=1}^{\infty} G_{\alpha,s}\sin(\alpha\Phi) = 0, \qquad (6)$$

где $\Phi = A\frac{ed_x}{c\hbar}$ – проекция безразмерного векторного потенциала на ось Ox, $\tau = \omega_0 t/\sqrt{\varepsilon}$ – безразмерное время, $\upsilon = y\omega_0/c$ и $\zeta = z\omega_0/c$ – безразмерные координаты, ω_0 – величина с размерностью частоты, определяемая как

$$\omega_0 = 2\frac{ed_x}{\hbar}\sqrt{\pi n_0 \gamma_0}\,. \qquad (7)$$

Электрическое поле волны в массиве нанотрубок имеет вид $\mathbf{E} = \{E, 0, 0\}$,

$$E = -\frac{1}{c}\frac{\partial A}{\partial t} = E_0\frac{\partial\Phi}{\partial\tau}, \qquad (8)$$

где величина E_0 определяется по формуле

$$E_0 = -\frac{\hbar\omega_0}{ed_x\sqrt{\varepsilon}}. \qquad (9)$$

Как известно, измеряемой приборами физической величиной является интенсивность, энергия или мощность электромагнитного излучения, которые пропорциональны квадрату модуля вектора электрического поля [18]. Величина, пропорциональная интенсивности поля $I = |\mathbf{E}|^2$, с учетом формулы (8), определяется как

$$I = I_0\left(\frac{\partial\Phi}{\partial\tau}\right)^2, \qquad (10)$$

где $I_0 = E_0^2$ (см. (9)).

3. Вихри. Численное моделирование и обсуждение результатов

Будем полагать, что в момент $\tau = 0$ в массиве углеродных нанотрубок сформирован электромагнитный импульс, безразмерный векторный потенциал которого имеет вид

$$\Phi = \Phi_0 \left[\left(\frac{\upsilon - \upsilon_0}{\lambda} \right)^2 + \left(\frac{\zeta - \zeta_0 - \beta\tau}{\sqrt{1-\beta^2}} \right)^2 \right] \exp\left\{ - \left[\left(\frac{\upsilon - \upsilon_0}{\lambda} \right)^2 + \left(\frac{\zeta - \zeta_0 - \beta\tau}{\sqrt{1-\beta^2}} \right)^2 \right] \right\} \quad (11)$$

где Φ_0 – амплитуда, $\beta = u/v$ – отношение скорости импульса u к скорости света в среде $v = c/\sqrt{\varepsilon}$, υ_0 и ζ_0 – безразмерные координаты импульса соответственно вдоль осей $O\upsilon$ и $O\zeta$, λ – безразмерная полуширина импульса вдоль оси $O\upsilon$.

Как известно, измеряемой приборами физической величиной является интенсивность, энергия или мощность электромагнитного излучения, которые пропорциональны квадрату модуля вектора электрического поля. Величина, пропорциональная интенсивности поля $I = \left|\vec{E}\right|^2$, с учетом выбранной калибровки векторного потенциала, определяется как

$$I = I_0 \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \tau} \right)^2, \quad (12)$$

где $I_0 = \varepsilon^{-1} (\hbar\omega_0)^2 (ed_x)^{-2}$.

Уравнение (6) не имеет точного аналитического решения в общем случае, поэтому оно было решено численно при начальном условии (11). При решении уравнения (6) была использована явная разностная схема «крест» для уравнений гиперболического типа, описанная в [22]. Найденные таким образом значения $\Phi(\upsilon, \zeta, \tau)$ использовались для вычисления интенсивности поля по формуле (12).

Исследование эволюции электромагнитного поля в массиве углеродных нанотрубок проведено нами при следующих значениях параметров рассматриваемой системы: $\gamma_0 = 2.7$ эВ, $b = 1.42 \cdot 10^{-8}$ см, $d_x \approx 2.13 \cdot 10^{-8}$ см, $m = 7$, $n_0 = 2 \cdot 10^{18}$ см$^{-3}$, $T = 77$ K, $\varepsilon = 4$, $\omega_0 \approx 10^{14}$ с$^{-1}$. На рис. 1, 2 представлены типичные результаты моделирования эволюции двумерного электромагнитного импульса в массиве углеродных нанотрубок.

На рис. 1 показано распределение безразмерной интенсивности поля $I/I_{\max}$ в различные моменты безразмерного времени τ в ходе эволюции электромагнитного импульса с начальными параметрами $\beta = 0.5$, $\lambda = 0.5$ ($I_{\max}$– максимальное значение интенсивности в момент τ). Различным значениям величины $I/I_{\max}$ сопоставлены в линейной зависимости оттенки шкалы серого. При этом наиболее светлые участки соответствуют максимальной интенсивности поля, а наиболее темные – минимальной. По горизонтали и по вертикали на рисунке отложены безразмерные координаты $\upsilon = y\omega_0/c$ и $\zeta = z\omega_0/c$.

Показанные на рис. 1 стадии изменения конфигурации распределения электромагнитного поля напоминают эволюцию вихревых солитонов, описанных в [23]. Установлено, что при выбранных выше параметрах системы, средняя по времени скорость «центра масс» вихря остается нулевой. Отметим, что распределение поля вихря является пульсирующим и принимает периодически повторяющиеся с течением времени конфигурации. На рис. 2 показана одна из конфигураций распределения поля, возникающая через равные промежутки времени.

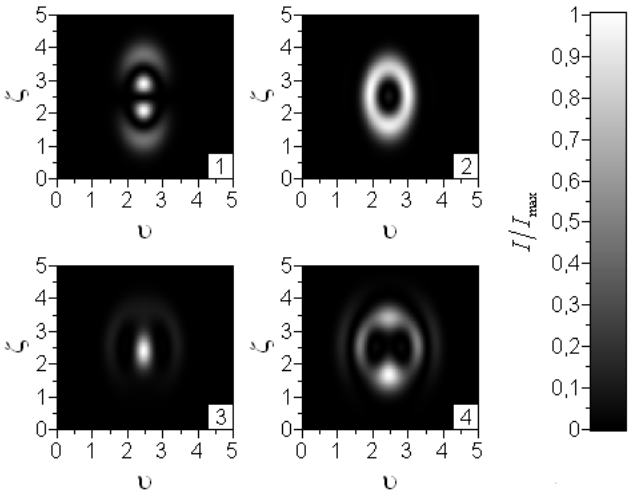


Рис. 1. Эволюция электромагнитного поля в массиве нанотрубок. 1 – $\tau = 0.0$, 2 – $\tau = 0.3$, 3 – $\tau = 0.6$, 4 – $\tau = 0.9$. Справа – шкала соответствия значений отношения $I/I_{\max}$ оттенкам серого.

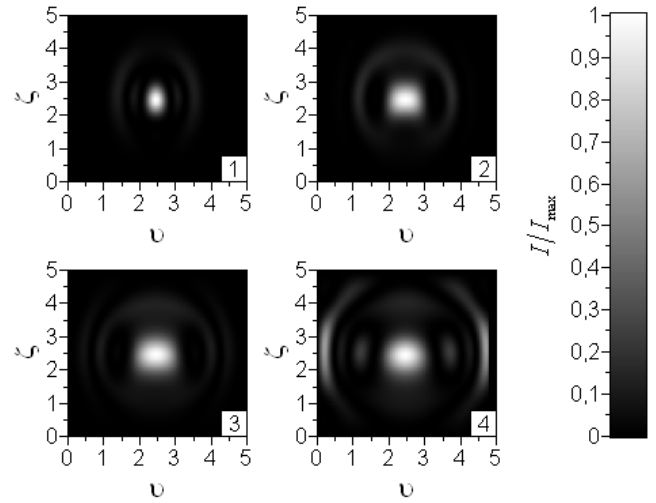


Рис. 2. Периодическое повторение конфигураций распределения поля вихря. 1 – $\tau = 0.7$, 2 – $\tau = 1.3$, 3 – $\tau = 1.9$, 4 – $\tau = 2.5$. Справа – шкала соответствия значений отношения $I/I_{\max}$ оттенкам серого.

3. Бризер. Численное моделирование и обсуждение результатов. Будем полагать, что в момент $\tau = 0$ в массиве углеродных нанотрубок сформирован электромагнитный импульс, безразмерный векторный потенциал которого имеет вид

$$\Phi = 4\,\mathrm{Arctg}\left[\left(\frac{1}{\Omega^2}-1\right)^{1/2}\frac{\sin(\chi-\eta)}{\mathrm{ch}(\mu)}\right]\exp\left[-\left(\frac{\upsilon-\upsilon_0}{\lambda}\right)^2\right], \qquad (13)$$

где $\Omega = \omega_B/\omega_0$ – параметр, определяемый собственной частотой колебаний бризера ω_B ($\Omega<1$), $\chi = \Omega\cdot\left(1-\beta^2\right)^{-1/2}\cdot\left[\tau-\beta(\zeta-\zeta_0)\right]-\eta$, η – константа, имеющая смысл начальной фазы , $\mu = \left(1-\Omega^2\right)^{1/2}\cdot\left(1-\beta^2\right)^{-1/2}\cdot\left[\beta\tau-(\zeta-\zeta_0)\right]$, $\beta = u/v$ – отношение скорости импульса u к скорости света в среде $v = c/\sqrt{\varepsilon}$, ζ_0 и υ_0 – безразмерные координаты импульса вдоль осей соответственно Oz и Oy в момент $\tau = 0$, λ – безразмерная полуширина импульса вдоль оси Oy.

Электрическое поле импульса в соответствии с (8) и (13) имеет вид $E = E_0\Psi(\zeta,\tau)$, где

$$\Psi(\zeta,\tau) = 4\frac{\sqrt{1-\Omega^2}}{\sqrt{1-\beta^2}}\left[\frac{\cos\chi\cosh\mu+\beta\left(\Omega^{-2}-1\right)^{1/2}\sin\chi\sinh\mu}{\cosh^2\mu+\left(\Omega^{-2}-1\right)\sin^2\chi}\right]\exp\left[-\left(\frac{\upsilon-\upsilon_0}{\lambda}\right)^2\right], \qquad (14)$$

а величина E_0 определяется по формуле (9).

Выбор начальных условий в виде (13), (14) обусловлен следующими соображениями. Уравнение (6) можно рассматривать как обобщение неодномерного уравнения sine-Gordon в случае, когда обобщенный потенциал разложен в ряд Фурье. Как показали результаты численных расчетов, коэффициенты $G_{\alpha,s}$ быстро убывают с ростом α ($|G_{1,s}| >> |G_{2,s}|$ и т.д.) (также см., например, [5, 6]). Ограничиваясь одномерным приближением и оставляя единственное (первое) слагаемое в сумме по α, из уравнения (6) можно получить известное уравнение sine-Gordon (достаточно «близкое» к исходному), которое имеет решение в виде бризера [19]. Отметим, что возможность распространения бризеров в твердых телах, в частности, в полупроводниковых сверхрешетках (в одномерной модели), была теоретически установлена в работе [20]. Таким образом, легко предположить, что и в системе, описывае-

мой уравнением (6), возможно распространение уединенных волн, по форме близких к решениям уравнения sine-Gordon. Поэтому в качестве первого сомножителя в (11) взято бризерное решение одномерного уравнения sine-Gordon. Наличие второго сомножителя в виде гауссианы в (11) и (12) связано с тем, что гауссово распределение интенсивности, как известно, представляет большой интерес с прикладной точки зрения в различных областях физики и техники. Это объясняется минимальной дифракционной расходимостью гауссовых пучков, причем такие пучки весьма близки к реальности, являясь приближением, просто и полно описывающим свойства лазерного излучения [18, 21].

Уравнение (6) не имеет точного аналитического решения в общем случае, поэтому оно было решено нами численно при начальных условиях (11), (12). Для численного решения данного уравнения была реализована явная разностная схема «крест» для уравнений гиперболического типа, описанная в [22]. Найденные таким образом значения $\Phi(\upsilon,\zeta,\tau)$ использовались для вычисления электрического поля по формуле (8), а также распределения интенсивности поля по формуле (10).

Исследование распространения лазерного импульса в массиве углеродных нанотрубок проведено нами при следующих значениях параметров рассматриваемой системы: $\gamma_0 = 2.7$ эВ, $b = 1.42\cdot10^{-8}$ см, $d_x \approx 2.13\cdot10^{-8}$ см, $n_0 = 2\cdot10^{18}$ см$^{-3}$ [13], $T = 77$ K, $\varepsilon = 4$, $\omega_0 \approx 10^{14}$ с$^{-1}$ (см. формулу (7)). Отметим, что применение использованного в данной работе бесстолкновительного приближения оправдано при рассмотрении процессов на временах t, не превышающих время релаксации $t_{rel} \cong 3\cdot10^{-13}$с [2]; за это время свет проходит в среде расстояние $z = ct_{rel}/\sqrt{\varepsilon} \cong 5\cdot10^{-3}$см.

На рис. 3–6 представлены типичные результаты моделирования распространения двумерного биполярного лазерного импульса в массиве углеродных нанотрубок.

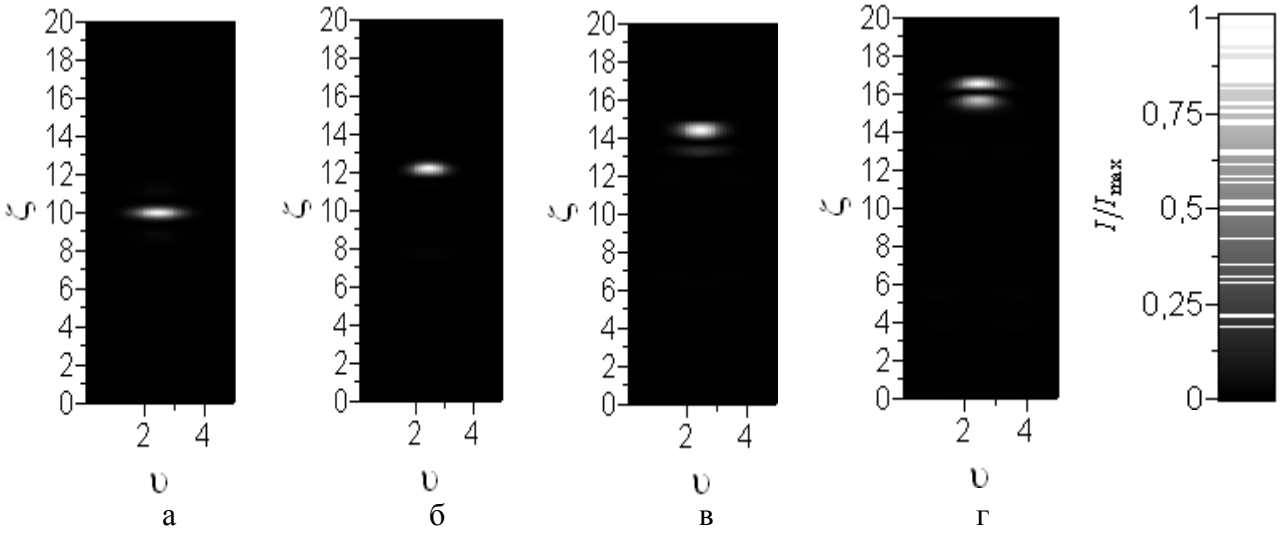


Рис. 3. Распределение интенсивности поля в массиве нанотрубок в различные моменты безразмерного времени $\tau = \omega_0 t/\sqrt{\varepsilon}$ при распространении лазерного импульса. а – $\tau = 0$, б – $\tau = 4.0$, в – $\tau = 8.0$, г – $\tau = 12.0$. По горизонтальной и вертикальной осям отложены безразмерные координаты $\upsilon = y\omega_0/c$ и $\zeta = z\omega_0/c$. Значениям отношения I/I_{max} сопоставлена шкала оттенков серого (справа) – максимальным значениям интенсивности соответствуют наиболее светлые участки, минимальным – наиболее темные. I_{max} – максимальное значение I в момент τ.

На рис. 3 показано распределение интенсивности $I(\upsilon,\zeta,\tau)$ поля в массиве нанотрубок типа $(7,0)$ при распространении лазерного импульса со следующими начальными параметрами: $\beta = 0.9$ (соответствует скорости $u = \beta c/\sqrt{\varepsilon} = 1.35\cdot10^{10}$ см/с), $\Omega = 0.5$ (частота соб-

ственных колебаний бризера $\omega_B = \Omega\omega_0 \approx 5.05\cdot 10^{13}\,\text{с}^{-1}$), $\lambda = 1$ (полуширина импульса вдоль оси Oy равна $L_y = \lambda c/\omega_0 \approx 3\cdot 10^{-4}\,\text{см}$). Интенсивность поля импульса представлена отношением $I/I_{\max}$, различным значениям которого сопоставлены в линейной зависимости оттенки шкалы серого ($I_{\max}$ – максимальное значение интенсивности в конкретный момент безразмерного времени $\tau = \omega_0 t/\sqrt{\varepsilon}$). При этом наиболее светлые участки соответствуют максимальной интенсивности, а наиболее темные – минимальной. По горизонтали и по вертикали на рис. 3 отложены безразмерные координаты $\upsilon = y\,\omega_0/c$ и $\zeta = z\,\omega_0/c$. При выбранных выше значениях параметров системы единица по осям $O\upsilon$ и $O\zeta$ соответствует расстояниям $\Delta y = \Delta z \cong 3\cdot 10^{-4}\,\text{см}$.

Как показано на рис. 3, двумерный электромагнитный импульс распространяется в среде массива нанотрубок устойчиво, не подвергаясь существенному расплыванию. По мере движения импульса, происходит регулярное изменение формы распределения его интенсивности – форма с одним главным максимумом периодически сменяется формой с двумя максимумами. В течение интервала времени $\tau \in [0, 12]$, показанного на рис. 3, произошло несколько циклов периодического изменения формы импульса.

На рис. 4, 5 представлено распределение напряженности электрического поля $E(\zeta,\tau)$ и интенсивности $I(\zeta,\tau)$ в массиве нанотрубок типа $(7,0)$ в те же моменты времени τ, что на рис. 3, в сечении, параллельном плоскости xOz и проходящем через центр импульса ($\upsilon = 2.5$).

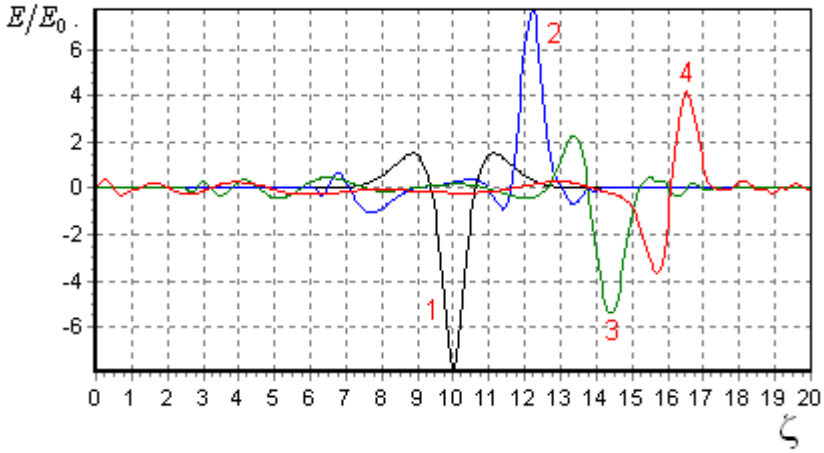


Рис. 4. Распределение напряженности электрического поля импульса в различные моменты τ в сечении, параллельном плоскости xOz и проходящем через центр импульса. 1 – $\tau = 0$, 2 – $\tau = 4.0$, 3 – $\tau = 8.0$, 4 – $\tau = 12.0$. По горизонтальной оси отложена безразмерная координата $\zeta = z\,\omega_0/c$, по вертикальной оси отложена величина E/E_0.

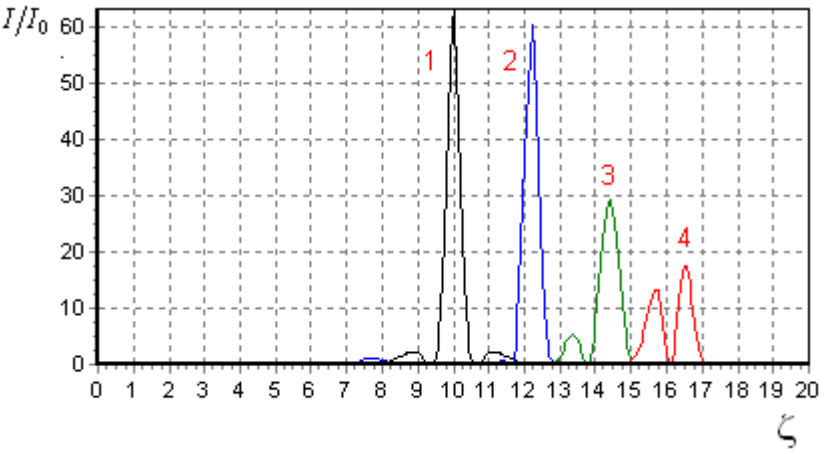


Рис. 5. Распределение интенсивности импульса в различные моменты τ в сечении, параллельном плоскости xOz и проходящем через центр импульса. 1 – $\tau = 0$, 2 – $\tau = 4.0$, 3 – $\tau = 8.0$, 4 – $\tau = 12.0$. По горизонтальной оси отложена безразмерная координата $\zeta = z\,\omega_0/c$, по вертикальной оси отложена величина I/I_0.

Как показало численное моделирование, электромагнитный импульс по мере распространения с течением времени является биполярным и его

поле периодически изменяет свой знак (см., например, кривые 1 и 2 на рис. 4). Изменение формы распределения интенсивности, показанное на рис. 3 и 5, обусловлено периодическим изменением формы распределения электрического поля импульса. При сугубо асимметричном (относительно плоскости yOz) распределении электрического поля (рис. 4, кривые 1-3) наблюдается один главный максимум в распределении интенсивности (рис. 3, а-в, рис. 5, кривые 1-3). При симметричном распределении поля (рис. 4, кривая 4) наблюдаются два главных максимума в распределении интенсивности (рис. 3, г, рис. 5, кривая 4).

По рис. 4 можно определить амплитудное значение напряженности электрического поля электромагнитного импульса в конкретный момент времени. Например, в момент $\tau = 0$ глобальный экстремум функции $\partial\Phi(\zeta)/\partial\tau$ имеет значение ≈ -8.0, что соответствует напряженности электрического поля $E \approx 1.25 \cdot 10^7$ В/см (см. формулы (8), (9)).

В результате численного анализа установлено, что по мере распространения импульса с течением времени, наряду с формой импульса периодически изменяется и его амплитуда. На рис. 6 показана временная зависимость максимальной интенсивности $I_{\max}$ в сечении, параллельном плоскости xOz и проходящем через центр импульса, распространяющегося в массиве углеродных нанотрубок типа $(7, 0)$ при тех же значениях параметров системы, что и на рис. 3-5.

На рис. 6 показано, что величина амплитуды интенсивности $I_{\max}$ импульса является периодической функцией времени. Из анализа приведенной на рисунке зависимости $I_{\max}(\tau)$ следует, что в спектре колебаний интенсивности явно выделяются гармоники с частотами ($\omega_1/(2\pi) \approx 10^{12}\,\text{с}^{-1}$, $\omega_2/(2\pi) \approx 7 \cdot 10^{12}\,\text{с}^{-1}$), лежащими в терагерцевом диапазоне.

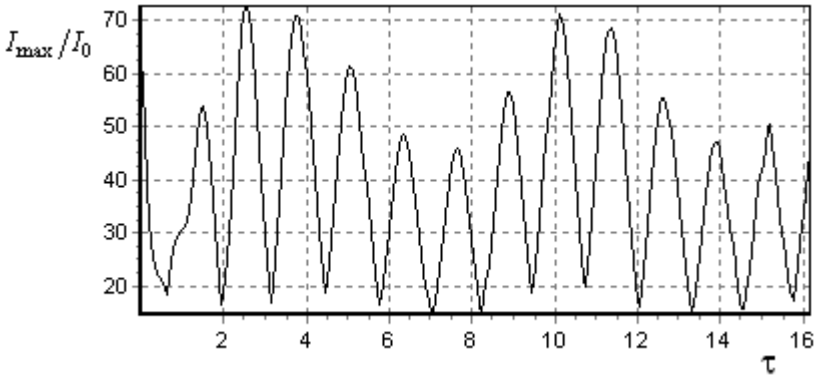


Рис. 6. Зависимость отношения I_{max}/I_0 от безразмерного времени τ в сечении, параллельном плоскости xOz и проходящем через центр импульса.

Таким образом, эволюция биполярного двумерного электромагнитного импульса в массиве углеродных нанотрубок характеризуется периодическим изменением его формы и амплитуды, что позволяет провести аналогию с «дышащим» решением уравнения sine-Gordon – бризером. Электромагнитный двумерный бризер в массиве нанотрубок устойчив к расплыванию и может перемещаться на расстояние $\sim 10^{-3} \div 10^{-2}$ см, что, на наш взгляд, приемлемо для оптоэлектронных устройств.

4. Заключение

В заключение сформулируем основные результаты данной работы.

1. Получено уравнение, описывающее распространение двумерного электромагнитного импульса в массиве углеродных нанотрубок (см. (6)).
2. В результате численного моделирования установлено, что в массиве углеродных нанотрубок возможно распространение двумерных биполярных электромагнитных уединенных волн – вихрей и бризеров.
3. Амплитуда распространяющегося в массиве нанотрубок бризера совершает регулярные колебания в терагерцевом диапазоне частот, при этом бризер устойчив к расплыванию и может перемещаться на расстояния $\sim 10^{-3} \div 10^{-2}$ см.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 11-02-97054).

Список литературы

[1] Харрис И. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. – М.: Техносфера, 2003 – 336 с.
[2] Максименко С.А., Слепян Г.Я. // Радиотехника и электроника. – 2002. – Т. 47. – № 3. – С. 261-280.
[3] Maksimenko S.A. and Slepyan G.Ya. // Handbook of nanotechnology. Nanometer structure: theory, modeling, and simulation. – Bellingham: SPIE Press, 2004. – P. 145–206.
[4] Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. – М.: Наука, 1988. – 309 с.
[5] Belonenko M.B., Demushkina E.V., and Lebedev N.G. // Journal of Russian Laser Research. – 2006. – Vol. 27. - № 5. – P. 457-465.
[6] Белоненко М.Б., Демушкина Е.В., Лебедев Н.Г. // ФТТ. – 2008. – Т. 50. – Вып. 2. – С. 367 – 373.
[7] Белоненко М.Б., Демушкина Е.В., Лебедев Н.Г. // ЖТФ. – 2008. – Т. 78. – Вып 7. – С. 1 – 7.
[8] Белоненко М.Б., Демушкина Е.В., Лебедев Н.Г. // Химическая физика. – 2008. – Т. 27. – № 7. – С. 97-105.
[9] Белоненко М.Б., Глазов С.Ю., Лебедев Н.Г., Мещерякова Н.Е. // ФТТ. – 2009. – Т. 51. – Вып. 8. – С. 1657-1662.
[10] Боголюбский И.Л., Маханьков В.Г. // Письма в ЖЭТФ. – 1977. – Т. 25. – Вып. 2. – С. 120-123.
[11] Белоненко М.Б., Лебедев Н.Г., Попов А.С. // Письма в ЖЭТФ. – 2010. – Т. 91. – Вып. 9. – С. 506-510.
[12] Белоненко М.Б., Лебедев Н.Г., Попов А.С. // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – Вып. 3. – С. 51-58.
[13] Белоненко М.Б., Глазов С.Ю., Мещерякова Н.Е. // ФТП. – 2010. – Т. 44. – Вып. 9. – С. 1248-1253.
[14] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 621 с.
[15] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Наука, 1973. – 504 с.
[16] Эпштейн Э.М. // ФТТ. – 1977. – Т. 19. – Вып. 11. – С. 3456-3458.
[17] Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1978. – 832 с.
[18] Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М.: Высшая школа, 2001. – 573 с.
[19] Kivshar Yu.S. and Malomed B.A. // Rev. Mod. Phys. – 1989. – Vol. 61. – № 4. – P. 763-815.
[20] Крючков С.В., Сыродоев Г.А. // ФТП. – 1990. – Т. 24.– Вып. 5. – С. 913-915.
[21] Гончаренко А.М. Гауссовы пучки света. М.: URSS: КомКнига, 2005. – 144 с.
[22] Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
[23] Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. От волоконных световодов до фотонных кристаллов. М.: Физматлит, 2005.

УДК 535.2

ДВУХФОТОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ НА СВОБОДНЫХ ЭКСИТОНАХ И ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ФОТОННОГО ЭХА В ПЛЕНКАХ ОКСИДА ЦИНКА НАНОРАЗМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ

Н. С. Вашурин[1,2], И. И. Попов[1,2], В. Т. Сидорова[1], С. А. Степанов[1], Н. И. Сушенцов[2], С. Э. Путилин[3], М. Б. Белоненко[4]

[1]ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола, Россия
[2]ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия
[3]СПбНИУ ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
[4]НОУ ВПО «Волгоградский институт бизнеса», Волгоград, Россия
e-mail: popov@volgatech.net

В работе сообщается об экспериментах по двухфотонному возбуждению фемтосекундного сигнала первичного фотонного эха в полупроводниковой пленке оксида цинка наноразмерной толщины (100, 600 и 800 нм) на квантовом переходе, соответствующем 400 нм, при комнатной температуре. Фотонное эхо наблюдалось на свободных экситонах. Регистрация эхо сигнала, частично ослабленного за счет рассеяния на оптических фононах, осуществлялась на длине волны 800-840 нм. Обнаружен наноптический эффект снижения значения времени необратимой поперечной релаксации среды T_2 с уменьшением толщины пленки. Установленный факт связан, во-первых, со структурной особенностью исследуемых пленок и, во-вторых, с уменьшением интенсивности продольных взаимодействий возбужденных частиц по мере уменьшения толщины пленки.
This researching work is reported us about the experiments in two-photon excitation of the femtosecond signal of the primary photon echo. We registered the primary photon echo in the semiconductor layer of zinc oxide with a nanodimension thickness of (100, 600, and 800 nm), this phenomenon was displayed on the quantum transition, which corresponded to 400 nm under a room temperature. Photon echo was observed on the free exciton. Registration of the partially weakened energy echo signal, by the scattering on the optical phonons. It was carried out at a wavelength of 800-840 nm. Nano - optical effect of the account reducing of time of the irreversible transverse relaxation of the environment T2 with the decreasing of the layer thickness was detected. The established fact was connected, first of all, with the structural characteristics of the studied layer and, secondly, with a decrease of the intensity of the longitudinal interactions of excited particles with the diminution of the layer thickness.

Keywords: femtosecond photon echo, nanoscale semiconductor film thickness, two-photon excitation, free excitons, room temperature, optical phonons, and time.
Ключевые слова: фемтосекундное фотонное эхо, полупроводниковые пленки наноразмерной толщины, двухфотонное возбуждение, свободные экситоны, комнатная температура, оптические фононы, время.

1. Введение. В работе рассматриваются особенности возбуждения и регистрации фотонного эха (ФЭ) в пленках оксида цинка наноразмерной толщины, содержащихся при комнатной температуре, и некоторые свойства фотонного эха в наноразмерных средах. Выбранный в наших исследованиях оксид цинка ZnO является популярной средой для различных оптических исследований в силу наличия у него ряда преимуществ, таких как широкая запрещенная зона 3,37 эВ, относительно большая энергия связи экситона при комнатной температуре, около 60 мэВ, и возможность реализации ряда наноструктур при невысоких затратах [1, 2].

Изучаемая при этом физика фотонного эха наноразмерных сред и его свойства значительно отличается от ранее известных свойств фотонного эха в газовых и твердотельных средах, в полупроводниковых кристаллах микронной толщины. Многие методические наработки более ранних экспериментов по фотонному эхо, включая оптическую спектроскопию сверхвысокого разрешения и оптическую обработку информации могут иметь место при наблюдении эхо-сигналов в наноразмерных средах. Вместе с тем, при наблюдении фотонного эха в тонких пленках ожидается обнаружение новых оптических свойств, характерных для наноразсмерных структур. В настоящее время существует множество работ по применению явления фотонного эха в газовых средах. С его помощью была получена разнообразная спектроскопическая информация о резонансных уровнях и резонансных переходах атомов (молекул) исследуемых газов. Во-первых, высокая разрешающая способность метода непосред-

ственно во временной области при использовании ультракоротких нано- и пикосекундных возбуждающих импульсов дает возможность проводить исследования быстропротекающих релаксационных процессов. Во-вторых, свободный от влияния допплеровского уширения характер метода фотонного эха позволяет выполнять прецизионные измерения внутри неоднородно-уширенного контура резонансной спектральной линии. В-третьих, в методе фотонного эха, в отличие от других методов нелинейной лазерной спектроскопии, исследуемые релаксационные процессы не подвержены возмущающему действию интенсивного лазерного излучения [3]. Несомненно, что одними из первых следует повторить традиционные эксперименты по двухимпульсному фотонному эху с целью определения однородных ширин резонансных спектральных линий. Для определения релаксационных характеристик уровней резонансного перехода целесообразно применить стимулированное фотонное эхо, а для измерения однородных ширин оптически-запрещенных переходов использовать трехуровневое или рамановское фотонные эхо [3]. Фотонное эхо позволяет не только измерять интегральные релаксационные характеристики уровней и переходов, но и определять вклады в эти характеристики различных механизмов релаксации.

Перспективными для наноразмерных сред являются ранее известные методы, основанные на явлении фотонного эха в твердых тела. С их помощью можно изучать неравновесные свойства кристаллов. На основе фотонного эха могут быть созданы оптические процессоры и оптоэлектронная оперативная память сверхбольшой емкости. В отличие от магнитных резонансов ЭПР и ЯМР фотонное эхо обладает всеми преимуществами оптического диапазона, а именно сверхбыстродействием и многоканальностью. С помощью фотонного эха можно осуществлять генерацию гармоник, проводить обращение волнового фронта одного из возбуждающих импульсов, исследовать свойства атомного конденсата. Одной из наиболее интересных областей применения фотонного эха является его использование для записи и обработки информации, как классической, так и квантовой. В работе [4, 5] проведены эксперименты по двухфотонному возбуждению фотонного эха на экситоном переходе в полупроводниковом кристалле CdS микрометровой толщины, содержащемся при комнатной температуре.

В силу выше изложенного изучение наноразмерных сред на основе фотонного эха является реальным и весьма перспективным направлением решения актуальных задач современной науки и техники. Первым экспериментам по фотонному эху в полупроводниковой пленке наноразмерной толщины, содержащейся при комнатной температуре, и посвящены исследования, приведенные в данной работе.

1. Особенности возбуждения сигналов фотонного эхав пленках ZnO наноразмерной толщины. Отличительной особенностью регистрации фотонного эха в полупроводниковых средах наноразмерной толщины является наличие резонансных линий экситонов. В работе [6] показано, что по мере перехода от гелиевых температур к более высоким температурам пики люминисценции, обусловленной экситонами, связанными на доноре, экспоненциально уменьшаются, а пики обязанные свободным экситонам остаются на прежнем уровне интенсивности. В нашем эксперименте регистрации эхо-сигналов проводилась после рассеивания части его энергии на оптических фононах. В качестве резонансной среды использовались пленки оксида цинка толщиной 100, 600 и 800 нм. Эти пленки изготавливались методом вакуумного магнетронного распыления. Поскольку ширина запрещенной зоны оксида цинка составляет 3,37 эВ, однофотонное резонансное возбуждение электронного перехода оксида цинка излучением на длине волны 800 нм было невозможно. В режиме двухфотонного поглощения возбуждались квантовые переходы между уровнем основного состояния, лежащем в валентной зоне, и возбужденным экситонным уровнем, лежащим в запрещенной зоне. В этом случае для вероятности перехода зона-экситон, вычисленной в дипольном приближении согласно правилу Ферми с учетом широкополосности возбуждающего импульса можно записать:

$$w = \frac{E_1 \tau_1^2}{4\hbar^2} \int d^3k \left| V_{ek} \right|^2 , \quad (1)$$

где E_1-амплитуда первого импульса, τ_1-длительность первого импульса. V_{ek} матричный элемент дипольного перехода из валентной зоны на экситонный уровень, который задается как:

$$V_{ek} = \left\langle ex \left| e\vec{r} \cdot \vec{n} \right| k \right\rangle , \quad (2)$$

где $\left\langle ex \right|$ волновая функция экситона, $\vec{n}$-вектор поляризации лазерного импульса, $\left| k \right\rangle$ – волновая функция электронов в валентной зоне. Отметим, что входящие в выражение для вероятности возбуждения интегралы хорошо известны и плотность состояний экситонов $\rho_{ex}(w)$ растет по корневому закону в зависимости от частоты импульса:

$$\rho_{ex}(\omega) \propto \sqrt{\hbar\omega - \Delta E} , \quad (3)$$

где ΔE разница энергий между экситонным уровнем и вершиной валентной зоны. Отметим, что хотя возможная плотность состояний экситонов при комнатной температуре была незначительна, вследствие фотовозбуждения их плотность состояний, с учетом широкополосности импульса могла значительно возрасти, и дать существенный вклад в эффект эха.

Достоверность полученных нами экспериментальных результатов подтверждается в работах [7, 8], в которых были задействованы квантовые переходы на свободных экситонах. В работе [7] наблюдались генерация второй гармоники и люминесценции оксида цинка на экситоном переходе с длиной волны 382 нм. При этом имело место резонансное двухфотонное поглощении лазерного излучения с дискретными значениями длин волн в диапазоне 710-800 нм. В работе [8] аналогичные сигналы регистрировались при двухфотонном возбуждении оксида цинка при подаче излучения на дискретных значениях длин волн в диапазоне от 800 до 920 нм. При этом люминесценция наблюдалась на экситоном переходе с длиной волны 400 нм. Различие длинны волны люминесценции на экситонных переходах в этих работах связано с технологическими особенностями получения пленок.

В силу этого можно утверждать, что в нашем эксперименте сигналы фотонного эха возбуждались на свободных экситонах, образующиеся в результате фотовозбуждения образца.

2. Особенности регистрации фотонного эха в пленке оксида цинка наноразмерной толщины. Двухфотонное возбуждение ФЭ проводилось на экситоном переходе, резонансном излучению с длиной волны 400 нм. Сигнал ФЭ регистрировался на длинах волн от 800 до 820 нм. Регистрация эхо-сигнала на длинах волн, значительно превышающих длину волны излучения резонансного квантового перехода, объясняется в рамках процесса каскадной релаксации горячих экситонов, включающего в себя следующие шаги [9]: первый – двухфотонное поглощение падающих фотонов ($\hbar\omega_i$) с возбуждением экситона; второй – релаксация этого экситона в более низкие энергетические состояния с последующей эмиссией оптических LO фононов [10] через каскадный процесс; третий – излучательная рекомбинация экситона с испусканием рассеянного фотона

$$\hbar\omega_s \cong \hbar\omega_i - n\hbar\omega_{LO} . \quad (4)$$

Отметим, что величина экситон-фононного взаимодействия пропорциональна величине $m_e^2 - m_h^2$, где m_e и m_h массы электронов и дырок вблизи дна зоны проводимости и вершины валентной зоны. Именно в ZnO эта величина существенно отличается (например, для Γ_7 зоны проводимости и Γ_7 валентной зоны), что делает предложенный механизм весьма эффективным.

Аналогичные режимы испускания фотонов с меньшей энергией по отношению к энергии возбуждения резонансного экситонного перехода на пленках оксида цинка в режиме комбинационного рассеяния света реализованы автором работы [6].

2. Исследование пленок ZnO наноразмерной толщины методами на основе фотонного эха. При исследовании пленок оксида цинка наноразмерной толщины использовалась мето-

дика измерения времени необратимой поперечной релаксации T_2 [11], в которой наблюдались сигналы самодифракции (СД) и первичного фотонного эха (ПФЭ) (рис. 1). Сигнал ПФЭ регистрировался в направлении $\boldsymbol{k}_э = 2\boldsymbol{k}_2 - \boldsymbol{k}_1$, а сигналы самодифракции в направлениях $\boldsymbol{k}_{СД} = 2\boldsymbol{k}_2 - \boldsymbol{k}_1$ и $\boldsymbol{k}_{СД} = 2\boldsymbol{k}_1 - \boldsymbol{k}_2$. По мере увеличения временного интервала между возбуждающими импульсами τ_{12} в обе стороны (опережение и отставание первого возбуждающего импульса относительно второго) сигнал СД уменьшался до нуля. При опережении первого импульса относительно второго по мере снижения сигнала СД в направлении $\boldsymbol{k}_э$ нарастал сигнал ПФЭ. Достигнув максимального значения, он уменьшался при дальнейшем увеличении временного интервала между возбуждающими импульсами. Как видно из рисунка 1 сигнал СД имеет симметричную форму относительно времени τ_{12}. При одновременной регистрации сигналов СД и ПФЭ на рисунке 1 можно продолжить форму СД (пунктирная линия). Правее пунктирной линии (зона II) сигнала СД имел место только сигнал ПФЭ.

Время релаксации T_2 определялось по кривой спада интенсивности эхо-сигнала на фоне спадающей интенсивности сигнала самодифракции с ростом временного интервала между возбуждающими импульсами τ_{12}. На этой кривой выбирались две точки на участке, когда сигнал самодифракции равнялся нулю (рис.1, зона II). По значениям интенсивности эхо-сигналов в этих точках и соответствующим им временным интервалам τ_{12} определялось значение времени релаксации T_2. согласно выражению:

$$T_2 = \frac{4(\tau_{12}(2) - \tau_{12}(1))}{\ln(\frac{I_n(1)}{I_n(2)})}, \qquad (5)$$

где $I_п(1)$ и $I_п(2)$ – значения интенсивностей сигналов ПФЭ, соответствующие временным интервалам между возбуждающими импульсами, соответственно, равными $\tau_{12}(1)$ и $\tau_{12}(2)$. Наблюдалось уменьшение времени поперечной релаксации среды T_2 на 30 % при изменении толщины пленки от 600 до 800 нм.

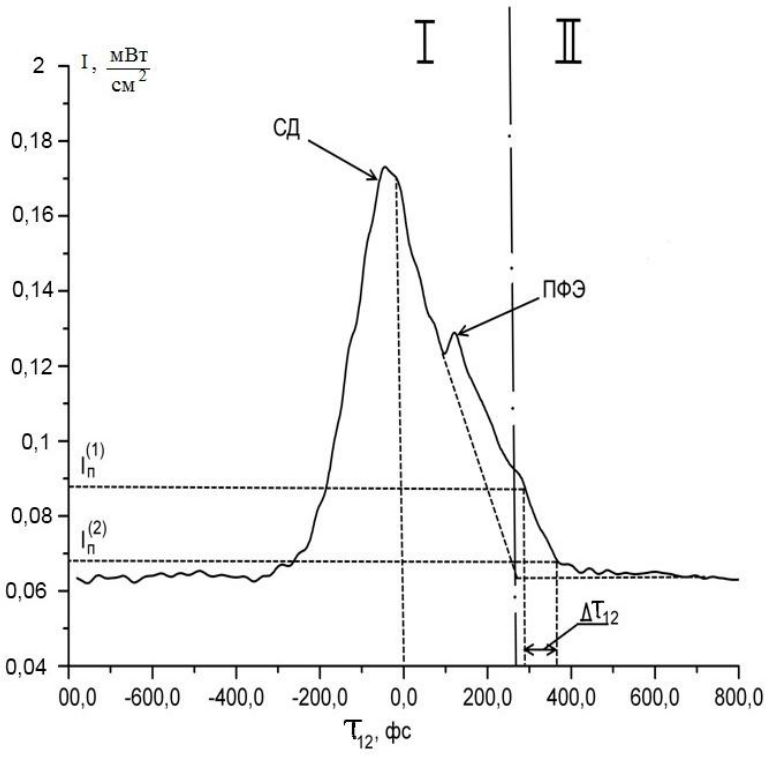


Рис. 1. Зависимость мощности сигналов СД и ПФЭ в пленке ZnO наноразмерной толщины от временного интервала между возбуждающими лазерными импульсами. Здесь: I – область временных интервалов τ_{12}, при которых регистрируемое значение равно сумме сигналов ПФЭ и СД; II – область временных интервалов τ_{12}, при которых регистрируется сигнал ПФЭ без сигнала СД, равного нулю.

Установленный факт мы связываем, во-первых, со структурной особенностью исследуемых пленок и, во-вт*орых, с уменьшением интенсивности* продольных взаимодействий возбужденных частиц по мере уменьшения толщины пленки. В-третьих, в более тонких пленках более ярко выражено влияние случайных границ зерен, что приводит к дополнительным полям напряжений, влекущим за собой уширение линии. Исследуемая пленка ZnO представляла собой структуру, состоящую из плотно расположенных кристаллов с неоднородными размерами (диаметром порядка 500 нм). Пространство между кристаллитами

заполнено рентгеноаморфной фазой оксида цинка. Таким образом, в апертуру возбуждающего излучения (диаметром 700 мкм) попадало тысячи кристаллитов. Формирующиеся под воздействием возбуждающего лазерного излучения экситоны испытывают поперечные взаимодействия в пределах одного кристаллита. Эти взаимодействия с экситонами соседних кристаллитов ослабляются аморфной фазой оксида цинка, расположенной между кристаллитами. Что, в целом, приводит к уменьшению интенсивности упругих взаимодействий в пленках наноразмерной толщины и, соответственно, увеличению времени необратимой поперечной релаксации T_2. Второй причиной увеличения времени релаксации T_2 является уменьшение интенсивности продольных взаимодействий возбужденных резонансных частиц по мере уменьшения толщины пленки. Вблизи поверхности пленки на толщинах, соизмеримых с длиной свободного пробега частиц их продольные взаимодействия значительно уменьшаются. По мере уменьшения толщины пленки доля поверхностных зон с уменьшенными продольными взаимодействиями в общей толщине пленки увеличивается. Что и приводит к уменьшению продольных взаимодействий частиц в целом в более тонкой пленке.

Заключение. Экспериментально показана возможность двухфотонного возбуждения на свободных экситонах в тонких полупроводниковых пленках наноразмерной толщины и регистрации фемтосекундного фотонного эха, частично рассеиваемого на оптических фононах, при комнатной температуре. Предложена методика измерения времени необратимой поперечной релаксации T_2 в тонких пленках для резонансного перехода оксида цинка. Время релаксации T_2 определялось по кривой спада интенсивности эхо-сигнала на фоне спадающей интенсивности сигнала самодифракции с ростом временного интервала между возбуждающими импульсами τ_{12}. На этой кривой выбирались две точки на участке, когда сигнал самодифракции равнялся нулю. По значениям интенсивности эхо-сигналов в этих точках и соответствующим им временным интервалам τ_{12} определялось значение времени релаксации T_2. По мере уменьшения наноразмерной толщины пленки имеет место увеличение времени релаксации среды T_2.

Работа поддержана грантом РФФИ №12-02-00736а и Единый заказ-наряд Минобрнауки для Марийского государственного университета на 2012-2014 годы.

Список литературы

[1] Kavokin A., Malpuech G. and Gil B. Semiconductor microcavities: towards polariton lasers // The Materials Research Society: Internet Journal of Nitride Semiconductor Research. 2003. vol. 8. P. 3–7.
[2] Pearton Sj., Norton Dp., Ip, K., Heo, Yw. and Steiner T. Recent advances in processing of ZnO // J. Vac. Sci. Terchnol. *B*. 2004. vol. 22. P. 932-954.
[3] Маныкин Э.А., Самарцев В.В.Оптическая эхо-спектроскопия М.: Наука. 1984. 270 с.
[4] Hiliman F., Voigt J., Redlin H. Two-photon excited photon echo in CdS // Applied physics letters. V. 77. №. 25. 2000. P. 4161 – 4163.
[5] Иванин К.В., Леонтьев А.В., Лобков В.С., Никифоров В.Г., Сафиуллин Г.М., Самарцев В.В. Фемтосекундная спектроскопия четырехволнового смешения в кристалле CdS // Ученые записки КГУ, серия физ.-математ. науки. 2009. Т. 151. кн. 1. С. 90 – 94.
[6] Заламай В.В. Оптические свойства тонких слоев в наноструктурах на основе GaN и ZnO // Автореферат на соискание уч. степени д.ф.-м.н., Кишинев, 2006.
[7] Shim H. S. et al. Nonlinear Optical Properties of ZnO // Bull. Korean Chem. Soc. 2010. V. 31. № 9. С. 2675–2678.
[8] Dai D.C. et al. Observation of Both Second-Harmonic and Multiphoton-Absorption-Induced Luminescence in ZnO // IEEE photonics technology letters. V. 18. №14. 2006. P. 1533–1535.
[9] Meyer B.K. et al. Bound exciton and donor-acceptor pair recombination's in ZnO phys. stat. sol. (b) 241. 2004. P. 231–260.

[10] Martin R.M. and Varma C.M. Cascade theory of inelastic scattering of light // Phys. Rev. Lett. 1971. V. 26. is. 20. P. 1241–1244.
[11] Вашурин Н.С., Попов И. И., Путилин С. Э., Сушенцов Н. И., Степанов С. А. Метод контроля неоднородности структуры и толщины неорганической нанопленки ZnO в технике фотонного эха // Материалы Шестой международной научной школы «Наука и инновации – 2011» / Под ред. И.И. Попова и др. Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. С. 65–69.

СВЕРХМОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ

А. В. Голенищев-Кутузов, В. А. Голенищев-Кутузов, Р. И. Калимуллин

Казанский государственный энергетический университет
(420066, Казань, ул. Красносельская, 51)
e-mail: kalru@newmail.ru

History of the development of lasers with ultra high capacity and very small duration pulses. Basic principles of construction. Practical applications as sources of high-intensity electromagnetic fields, Ultra-short pulses of up to attosecond and to the gamma frequency range.

1. Введение. Квантовая электроника – это область науки и техники, занимающаяся исследованиями принципов усиления, генерации и преобразования частоты электромагнитных колебаний и взаимного преобразования электрических и оптических сигналов в широком диапазоне длин волн. Квантовая электроника основана на эффекте вынужденного излучения фотонов атомами, ионами и молекулами и взаимодействии излучения с веществом. Основную роль в ней играют процессы вынужденного излучения и положительная обратная связь, что позволило создать квантовые электронные приборы и устройства: молекулярные генераторы радиодиапазона (мазеры), квантовые генераторы оптического излучения (лазеры), усилители электромагнитных волн, устройства для нелинейного преобразования частоты излучения.

Квантовая электроника – одно из самых молодых направлений электроники, возникла в середине 50-х годов XX века на стыке достижений квантовой физики и теории излучения, радиофизики и радиотехники, полупроводниковой и вакуумной электроники. Уже само перечисление научных областей, на основе которых развивалась квантовая электроника, свидетельствует как о сложности используемых в ней научных идей и многогранности экспериментальных методов, так и многообразии практических применений.

1917 г. – А. Эйнштейн – предсказание вынужденного или индуцированного излучения света.
1940 г. – В. А. Фабрикант – экспериментальное обнаружение вынужденного оптического излучения.
1944 г. – Е. К. Завойский – обнаружение эффекта резонансного поглощения электромагнитного излучения на электронных переходах.
1954 г. – Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Ч. Таунс – создание первых квантовых генераторов.
1960 г. – Т. Мейман – создание первого твердотельного лазера.
1963 г. – Н. Г. Басов, Б. М. Вул, Ю. М. Попов, Р. Холл, Х. Думке – первый полупроводниковый лазер.
1995 г. – США – первый рентгеновский лазер.

К началу XXI века в развитии квантовой электроники и особенно лазерной техники в связи с потребностями научных исследований и промышленного производства выявились определенные требования к новым типам лазеров:

1) лазеры сверхвысокой мощности, которые могут использоваться как в мирных целях, например при создании термоядерных реакторов, так и в военных целях (лазерное оружие);

2) лазеры с повышенным коэффициентом преобразования энергии накачки в когерентное оптическое излучение, что связано с широким использованием лазеров в быстродействующих системах волоконно-оптической связи и обработки информации;

3) лазеры с малой длиной волны излучения в нанометровом диапазоне, использующие рентгеновские пучки или гамма-излучение.

В связи с этим получили дальнейшее развитие принципы лазерной генерации, предложенные еще в 60 годах XX века, и новые принципы, основанные на достижениях физики и электроники конца XX века.

2. Лазеры с высокой мощностью и сверхмалой длительностью импульсов. С момента создания первого лазера одной из важнейших целей квантовой электроники было и остается увеличение пиковой мощности лазерного излучения. Само понятие «высокая пиковая мощность» постоянно меняется, и сегодня речь уже идет о мощности не менее 1 ПВт (10^{15} Вт) при длительностях импульсов, находящихся в фемтосекундном диапазоне (1 фс = 10^{-15} с).

Для генерации сверхкоротких импульсов ($\tau_{им}$ порядка 10^{-12}–10^{-14} с) в лазерах используют процесс синхронизации продольных мод резонатора. Сложение амплитуд всех продольных мод с одинаковой фазой приводит к уменьшению длительности лазерных импульсов. Этот процесс носит название синхронизации мод. Существует пассивная и активная синхронизация мод. При пассивной синхронизации используют молекулы красителей или других рабочих веществ с узкой полосой усиления лазерного излучения. Также используются поглощающие излучение среды со сверхкоротким временем восстановления прозрачности (~10^{-13}–10^{-14} с). При активной синхронизации применяется синхронная накачка от другого пикосекундного лазера. Использование метода синхронной накачки позволяет получать импульсы в 10^2–10^3 раз более короткие, чем длительность импульсов лазера накачки.

В настоящее время достигнута длительность сверхкоротких импульсов до десятков фемтосекунд, вначале с помощью лазеров на красителях, а затем и на твердотельных лазерах. Рекордная минимальная длительность сверхкоротких импульсов в начале XXI века составляет 6 фс. Эта величина близка к фундаментальному пределу (2-3 фс), соответствующему одному периоду оптического излучения.

Особенно впечатляюще развитие лазерных технологий, связанное с увеличением мощности лазерных импульсов. С момента демонстрации в 1960 г. первого лазера последующее развитие методов укорочения импульсов привело к экспоненциальному возрастанию достигнутых интенсивностей. Уже к концу 1960-х годов был превышен уровень 10^{14} Вт/см^2. В те годы это достижение казалось естественным пределом для обычных лазерных сред, поскольку все попытки получения больших интенсивностей сопровождались оптическим пробоем материалов и их разрушением. Суть вопроса состояла в том, что дальнейшее повышение плотности мощности было возможным только с дальнейшим укорочением длительности импульсов. Выход был найден в1985 г. с изобретением метода усиления частотно-модулированных чирпированных импульсов (Chirped Pulse Amplification – CPA). Идея метода заключается в том, что исходный короткий импульс пропускается через дисперсионную оптическую систему – стретчер, придающую импульсу сильную линейную частотную модуляцию (так называемый чирп). При этом первоначально короткий импульс оказывается растянутым во времени и пространстве в 10^4–10^5 раз за счет разнесения его спектральных компонентов. Такой растянутый чирпированный импульс обладает значительно меньшей интенсивностью по сравнению с интенсивностью первоначального. Далее импульс усиливается обычным способом с помощью лазерного параметрического усилителя и затем пропускается через вторую дисперсионную систему, обратную первой. Это так называемый «компрессор», в котором импульс сжимается до первоначальной длительности. Преимуществом такой схемы (рис. 1) является то, что в лазерной среде происходит усиление растянутого импульса с пониженной мощностью при сохранении энергии, что предотвращает возникновение пробоя.

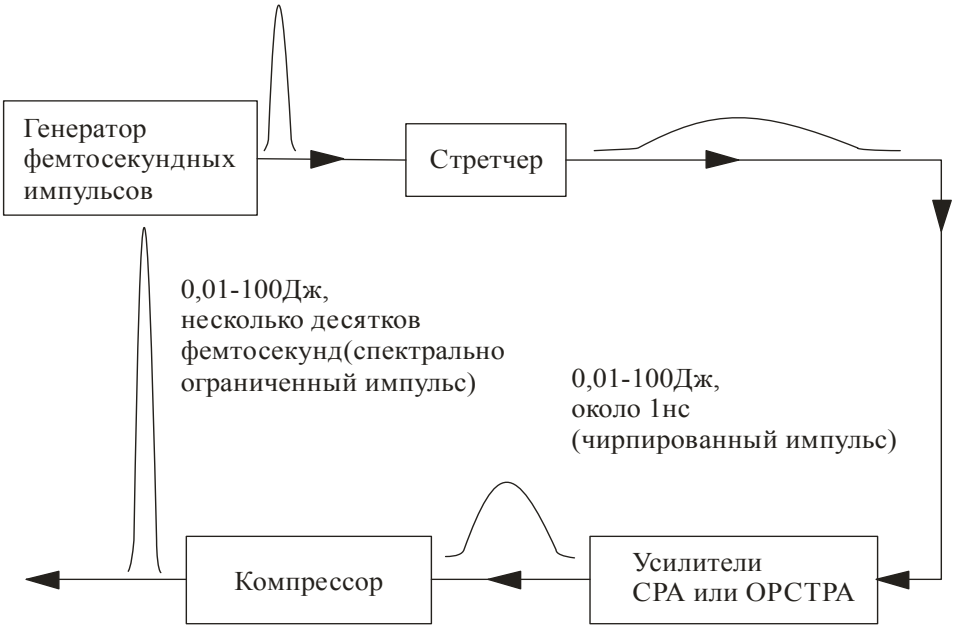


Рис. 1. Общая схема мощных фемтосекундных лазеров

В этой схеме единственной областью, в которой происходит взаимодействие импульса высокой интенсивности с веществом, является поверхность последней сжимающей импульс дифракционной решетки (компрессора). В процессе отражения порог разрушения наступает при значительно больших интенсивностях, чем пробой в толще оптических материалов. Разработка метода усиления чирпированных импульсов позволила с начала его применения (конец 1980-х гг.) повысить мощность коротких лазерных импульсов до петаватт, а плотность мощности излучения до 10^{22} Вт/см^2.

Петаваттная мощность впервые была получена в США в 1996 г. на основе CPA в неодимовом стекле: длительность импульса 440 фс, энергия 600 Дж. Применение кристалла сапфира (корунд с титаном – $Al_2O_{3i}T_i^{3+}$) позволило получить значительно более короткие импульсы и привело к созданию петаваттного лазера с гораздо меньшей энергией импульса – 28 Дж при длительности 33 фс. Было предложено использовать принцип параметрического усиления (OPCPA – optical parametrical chirped pulse amplification). Первый OPCPA-лазер петаваттного уровня был создан в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород) в 2006 г. на основе нелинейного кристалла DKDP (Deuterated Potassium Dihydrogen Phosphate).

Таким образом, все существующие и проектируемые петаваттные лазеры можно разделить на три типа по усиливающей среде:

1) неодимовое стекло;

2) сапфир (корунд с титаном);

3) параметрические усилители на кристаллах KDP (дигидрофосфат калия – KH_2PO_4) и DKDP (дидейтерофосфат калия – KD_2PO_4).

Во всех трех типах энергия (в виде инверсии населенности) запасается в активных ионах. В первом случае эта энергия непосредственно преобразуется в энергию чирпированного импульса, который затем сжимается. Во втором и третьем случаях запасенная энергия преобразуется в энергию узкополосного наносекундного импульса, который после преобразования во вторую гармонику служит накачкой усилителей чирпированных импульсов. Эта накачка либо обеспечивает инверсию населенностей в активном кристалле, либо параметрически распадается на два чирпированных импульса в оптически нелинейном кристалле.

Пиковая мощность определяется длительностью сжатого импульса и его энергией. Максимальная энергия достигается в лазерах на неодимовом стекле, поскольку запасенная в виде

инверсии населенности энергия непосредственно преобразуется в чирпированный импульс. Однако узкая полоса усиления лазерных стекол с неодимом ограничивает длительность сжатого импульса на уровне несколько сотен фемтосекунд. В результате оптическая стойкость дифракционных решеток ограничивает продвижение в мультипетаваттный диапазон.

В отличие от лазеров на неодимовом стекле лазеры на сапфире обеспечивают широкополосное усиление, позволяющее сжать импульс вплоть до 10–20 фс. В то же время при существующей технологии выращивания апертура кристаллов сапфира составляет не более 10 см. Столь малая апертура при попытке превысить петаваттный уровень будет приводить к ограничению энергии чирпированного импульса из-за оптического пробоя и самофокусировки.

3. Мощные химические лазеры. Химические лазеры относятся к классу газовых лазеров, в которых инверсия населенностей образуется в результате химических реакций. Возможность создания химических лазеров основана на том, что продукты многих экзотермических реакций образуются преимущественно в возбужденных состояниях. Переход этих продуктов в нормальное состояние может сопровождаться электромагнитным излучением.

В последние десятилетия непрерывные химические лазеры (НХЛ) привлекают наиболее пристальное внимание как гражданских и военных заказчиков, так и разработчиков новой техники в качестве наиболее перспективных источников мощного лазерного излучения.

Непрерывные химические лазеры на молекулах HF (фтористый водород) и DF (фтористый дейтерий) открыли пути для продвижения практически по всем технологическим направлениям, обеспечив значительный рост эффективности лазеров и уменьшение длины волны. Излучение фтористо-водородных непрерывных химических лазеров (диапазон длин волн 2,7–3,1 мкм) сильно поглощается атмосферой, тогда как излучение фтористо-дейтериевых непрерывных химических лазеров (3,6–4,1 мкм) практически полностью попадает в окно прозрачности. В связи с этим фтористо-водородные лазеры могут рассматриваться только для внеатмосферных применений, в то время как фтористо-дейтериевые непрерывные химические лазеры привлекательны в наземных условиях.

Начиная с девяностых годов прошлого века стал активно развиваться еще один тип непрерывных химических лазеров – химические кислородно-йодные лазеры (КИЛ). Длина волны излучения кислородно-йодного лазера (λ = 1,315 мкм) приходится на окно спектральной прозрачности атмосферы, а также соответствует рабочему диапазону волоконной оптики. Это означает отсутствие принципиальных ограничений на использование лазеров такого типа в различных атмосферных и внеатмосферных условиях. Малая длина волны обеспечивает уменьшение дифракционного предела, а небольшая плотность активной среды в резонаторной полости – высокое оптическое качество лазерного пучка. Поэтому действующий размер (апертура) оптических зеркал кислородно-йодного лазера, обеспечивающего такую же, как и фтористо-водородные и фтористо-дейтериевые лазеры, плотность излучения на цели, может быть в несколько раз меньше. Источником энергии для химического кислородно-йодного лазера служит кислород в синглетном электронно-возбужденном состоянии $O_2(^1\Delta)$. Энергетические характеристики лазера в основном определяются содержанием синглетного кислорода (СК) в активной среде. Сам синглетный кислород может быть получен различными способами. Наиболее распространенным является химический способ, основанный на реакции хлорирования щелочного раствора перекиси водорода, осуществляемой в генераторах синглетного кислорода (ГСК) (рис. 2). Основными частями кислородно-йодного лазера, определяющими конструктивный облик и оказывающими влияние на его работу, являются системы подготовки и хранения компонентов, в которых происходит подготовка щелочного раствора перекиси водорода, хлора и молекулярного йода, генератор синглетного кислорода, сверхзвуковой смесительный сопловой блок, обеспечивающий смешивание синглетного кислорода с молекулярным йодом и формирование сверхзвукового потока активной среды, резонаторная полость, оптический резонатор и система восстановления давления, обеспечивающая работу лазера в атмосфере.

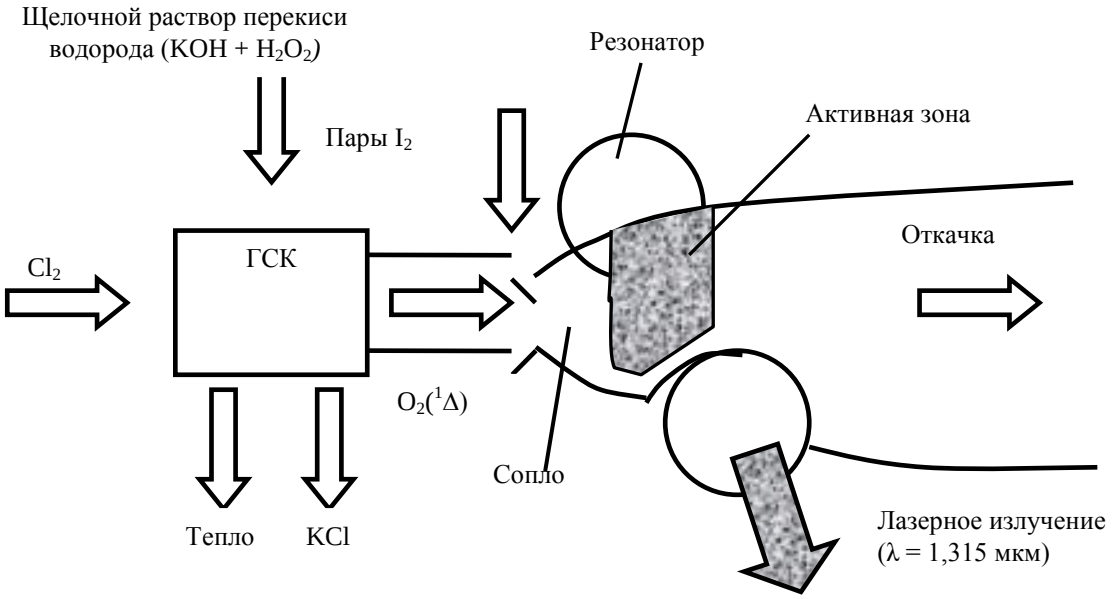


Рис. 2. Функциональная схема химического КИЛа со струйным генератором синглетного кислорода

С момента окончания «холодной» войны в начале 1990-х гг. и глобальных изменений в международной обстановке интерес к лазерам подобного типа не угас. Это связано с возникновением новых идей и предпосылок к использованию кислородно-йодных лазеров в метеорологических исследованиях, лазерном термоядерном синтезе и во многих отраслях промышленности. Так в настоящее время мощный КИЛ разработан и создан в Российском федеральном ядерном центре в городе Серове со средней мощностью излучения в 30 кВт на основе генератора синглетного кислорода с закругленным потоком газа.

4. Рентгеновские лазеры. Рентгеновские лазеры представляют собой источник когерентного электромагнитного излучения в диапазоне (10^2–10^{-1} нм). Впервые на возможность когерентного излучения в рентгеновских и гамма диапазонах было указано в начале 60-х гг. XX века одновременно в СССР и США, сразу после создания квантовых приборов оптического диапазона. Основные принципы создания подобных приборов сложились еще к началу 1970-х гг. Первый рентгеновский лазер был создан в США в 1985 г. и представлял собой лабораторный прибор. С его помощью была получена генерация квазикогерентного рентгеновского излучения в диапазоне 18–26 нм. К концу XX века получено квазикогерентное рентгеновское излучение в режиме усиления спонтанного излучения с длиной волны от нескольких десятков до единиц нанометров. Длительность одного импульса генерации составляет 0,1–10 нс и определяется, как правило, временем жизни плазменного образования. Величина коэффициента усиления за один проход лежит в пределах 3–16, а в целом усиление относительно уровня спонтанного излучения составляет порядка 10^6–10^7. Однако только 10^{-3}% энергии источника накачки составляет энергия рентгеновского излучения. Максимальная энергия в импульсе порядка 10 мДж, что значительно превосходит энергию других источников рентгеновского излучения. Активной средой рентгеновских лазеров является высокоионизированная плазма, создаваемая при облучении тонкой фольги из селена иттрия мощными лазерами видимого или инфракрасного диапазонов с длительностями импульсов 0,1–10 нс и энергиями порядка килоджоулей. В лазерах с рекомбинационной накачкой используется быстрое охлаждение высокоплотной плазмы. В этом случае электроны, оказавшиеся на высоких энергетических уровнях ионов, начинают релаксировать под влиянием излучательных и столкновительных переходов. С повышением скорости спонтанных переходов возможно возникновение инверсии между возбужденными уровнями за счет процесса более

быстрого опустошения нижнего уровня, чем верхнего. Если скорость притока частиц на верхний уровень за счет рекомбинационных процессов будет больше, чем пороговое условие генерации, то в этом случае возможна квазистационарная генерация. Она прекратится, когда нарушится пороговое условие из-за охлаждения плазмы.

Уже в начале XXI века появилось новое поколение рентгеновских лазеров с использованием Ni-подобных ионов серебра в качестве мишени с длиной волны когерентного излучения λ = 13,9 нм. Использование Ni-подобных ионов является более эффективным, поскольку для создания плазмы требуется в несколько раз более низкие значения электронной температуры и меньшей электронной плотности, чем с использованием Ne-подобных ионов, например Se. Подобные лазеры получили название «рентгеновские лазеры на плазме серебра» или в англоязычной аббревиатуре XRL. В XRL-лазерах длительность импульсов рентгеновского излучения уменьшилась до 6–10 пс, а энергия в импульсе составила десяток микроджоулей. Они также обладают повышенной когерентностью, монохроматичностью и значительно меньшей угловой расходимостью (не более 1 мрад). Эти параметры позволяют считать Ar-XRL лазеры источниками полностью когерентного рентгеновского лазерного излучения. Такие высокие характеристики обеспечиваются за счет использования двух серебряных мишеней. Излучение, генерируемое первой лазерной мишенью, усиливается при прохождении через плазму второй мишени.

Таким образом, за первое десятилетие XXI века параметры рентгеновских лазеров улучшились в несколько раз, и рентгеновские лазеры с длинами волн порядка десятка Нм и мощностями в импульсе до 5 кВт нашли широкое применение в качестве энергетического источника когерентного излучения в рентгеновском диапазоне.

5. Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом. Создаваемые во всем мире петаваттные лазеры уже в ближайшее время станут инструментом для освоения новой области знаний – физики экстремальных световых полей. В будущем петаваттные лазеры могут быть использованы в качестве ускорителей заряженных частиц для фундаментальных исследований, военно-технических и медицинских приложений. Следует отметить, что уже при достижении интенсивности излучения уровня 10^{15}–10^{16} Вт/см^2 электрическое поле лазерного импульса становится сравнимым по величине с характерным значением поля внутри атома. Такая интенсивность приводит к ионизации облучаемого вещества с образованием плазмы, а движение электрона в поле лазерной волны с интенсивностью порядка 10^{18} Вт/см^2 (при длине волны 1 мкм) становится релятивистским, т.е. его скорость приближается к скорости света.

Вопросы взаимодействия сверхсильного лазерного излучения с веществом представляют интерес не только с фундаментальной точки зрения, но и с практической, причем для ряда важных проблем современной энергетики и электроники это обстоятельство является ключевым. Среди практических приложений можно выделить генерацию пучков заряженных частиц (электронов, ионов), пучков нейтронов, генерацию когерентных рентгеновских пучков как на основной частоте (рентгеновский лазер), так и на высоких гармониках излучения, бесстолкновительный нагрев плазмы до релятивистских температур. Поскольку термоядерные реакции при управляемом термоядерном синтезе должны происходить в полностью ионизированной плазме, нагретой до высокой температуры (~10^8 К) и удержании ее в течение нескольких секунд, то наиболее приемлемым для данной цели является именно применение сверхмощных и сверхкоротких лазерных импульсов. Идея управляемого термоядерного синтеза, возникшая еще в 60-е годы XX века, основана на процессе слияния легких атомных ядер, при котором возникает выделение энергии при высоких температурах, происходящей в плазме при регулируемых управляемых условиях. И хотя до настоящего времени управляемый термоядерный синтез пока еще не реализован, попытки его создания непрерывно продолжаются вплоть до наших дней. Достаточно упомянуть международный проект ИТЭР, в котором принимает участие и Россия. Он должен стать экспериментальной моделью будущей электростанции с термоядерным реактором. Основное требование к термоядерному

реактору состоит в том, чтобы энерговыделение в результате термоядерных реакций с избытком компенсировало затраты энергии от внешних источников на поддержание реакции. Различают два типа термоядерных реакций, к одному из которых относятся реакторы, в которых энергия от внешних источников необходима только для зажигания термоядерной реакции. Далее реакция поддерживается за счет энергии, выделяющейся в плазме при термоядерном синтезе. Трудности, связанные с магнитным удержанием плазмы, можно обойти, если «сжигать» термоядерное горючее за чрезвычайно малые времена, когда плазма не успевает разлетаться из зоны реакции. В этом случае необходимо использовать малые порции горючего, чтобы избежать термоядерного взрыва большой мощности. Главная задача состоит в быстром подведении необходимой энергии для разогрева малой порции рабочего вещества и удержание плазмы с высокой плотностью во времени 10^{-10}-10^{-11} с. Решение этой задачи по инерционному удержанию плазмы возлагается на применение лазерного излучения, получившее название «лазерный термоядерный синтез с инерционным удержанием плазмы». Можно ожидать, что к середине второго десятилетия XXI века появятся уже в нескольких странах источники лазерных импульсов с пиковой мощностью до 10 ПВт и интенсивностью излучения до 10^{23} Вт/см$^{-2}$, достаточной для удержания плазмы.

Список литературы

[1] В.А. Малышев, *Основы квантовой электроники и лазерной техники*, Высш. шк., Москва (2005).
[2] В.А. Голенищев-Кутузов, А.В. Голенищев-Кутузов, *Квантовая и оптическая электроника*, КГЭУ, Казань (2011).
[3] А.В. Коржиманов, А.А. Гоносков, Е.А. Хазанов, А.М. Сергеев, УФН 81 (2011) 9.
[4] А.С. Борейшо, Квантовая электроника 35 (2005) 393.

ИОННЫЙ СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

А. Н. Голубев[1], С. И. Никитин[1], Т. С. Кавецкий[2], А. Л. Степанов[1, 3]

[1]Казанский (Поволжский) федеральный университет
[2]Дрогобычский государственный педагогический университет им. Ивана Франко, Дрогобыч, Украина
[3]Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН

В работе приведены результаты по исследованию композиционного материала на основе стекла SiO_2 с наночастицами меди, синтезированными методом ионной имплантации. Имплантация проводилась ионами Cu^+ энергией 160 кэВ и дозой $8 \cdot 10^{16}$ ион/см^2 при плотности тока в ионном пучке 10 мкА/см^2. В качестве источника зондирующего излучения при измерении нелинейно-оптического поглощения композиционного материала использовались перестраиваемый лазер на кристалле Al_2O_3:Ti^{3+} Solar LS LX325 и лазер на красителях. Длительность лазерных импульсов измерялась при помощи быстродействующего фотодетектора и составила 3-6 нс для лазера на красителях, 10-30 нс для лазера на кристалле в зависимости от длины волны генерации. В спектральной области 450-540 нм обнаружено нелинейное поглощение, в области 550-585 нм – нелинейное просветление. Сделано предположение, что нелинейное поглощение обусловлено двухфотонными переходами электронов из квазилокализованной *d*-зоны, а нелинейное просветление связано с насыщением плазмонного поглощения.

1. Введение. Пути развития и совершенствования элементной базы современной электроники определяются поиском новых фотонных материалов и созданием на их основе быстродействующих оптоэлектронных устройств, комбинированных с оптическими волноводами. Ключевыми элементами в оптических волноводах являются нелинейно-оптические переключатели, модуляторы светового сигнала и оптические ограничители, обеспечивающие управление оптическим потоком при временах лазерного воздействия порядка пико- или

фемтосекунд. В качестве таких активных нелинейно-оптических материалов могут быть эффективно использованы фотонные среды с металлическими наночастицами (МН) [1]. Коллективное возбуждение электронов проводимости МН под действием электромагнитной световой волны, так называемый поверхностный плазмонный резонанс (ППР), при усилении локального поля стимулирует в частицах различные оптические резонансные явления в широком спектральном диапазоне, например, приводит к появлению селективного ППР-поглощения, а также вызывает разнообразные нелинейно-оптические эффекты [2]. Несмотря на многочисленные исследования МН, все еще остается невыясненным ряд фундаментальных вопросов о природе нелинейно-оптических явлений. Также актуальными являются задачи, связанные с разработкой эффективных методов синтеза материалов с МН и оптимизацией свойств данных композитов. В последние годы ионная имплантация, как перспективный способ синтеза МН в объеме диэлектрических материалов, вызывает заметный интерес [3-5]. Основными преимуществами ионной имплантации при синтезе МН, по сравнению с такими известными методами, как золь-гель, ионный обмен и др., являются возможность заполнения имплантируемого слоя диэлектрика практически любым металлом сверх предела его растворимости и осуществление точного контроля концентрации вводимой примеси и позиционирования ионного пучка на поверхности и глубине образца [6]. Целью данной работы является исследование нелинейно-оптического поглощения в композитном материале SiO_2 с ионно-синтезированными наночастицами Cu в широком спектральном оптическом диапазоне, перекрывающем область ППР поглощения, при наносекундной длительности зондирующего излучения. Рассматриваемая задача находится в рамках темы группы Нанооптики и наноплазмоники КФТИ КазНЦ РАН [3-7].

2. Методики эксперимента. Композиционный материал на основе кварцевого стекла с наночастицами меди был изготовлен методом ионной имплантации, которая проводилась однозарядными ионами меди с энергией 160 кэВ и дозой $8 \cdot 10^{16}$ ион/см^2 при плотности тока в ионном пучке 10 мкА/см^2 на ионном имплатноре Wikham в университете Суссекса, Великобритания. Ионная имплантация быда проведена Степановым А.Л. в рамках совместного проекта, поддержаным Королевским обществом Великобритании. При имплантации было использовано разработанное и изготовленное в КФТИ КазНЦ РАН Нуждиным В. И. и Валеевым В. Ф. устройство для крепление образцов. Держатель образцов с имплантированными стеклами показан на рис. 1. Толщина имплантированного слоя, содержащего наночастицы меди, составляет порядка 100 нм, при среднем размере частиц ~5 нм [8]. Спектры пропускания $Cu:SiO_2$ и исходной матрицы SiO_2 (рис. 2) были измерены на двухлучевом спектрофотометре SPECORD M 40. Полоса поглощения имплантированного стекла с максимумом на длине волны 560 нм соответствует ППР наночастиц меди [3]. Для измерения нелинейно-оптического поглощения кварцевого стекла с МН был использован метод z-сканирования, физические принципы измерения которого подробно описаны в работе [9]. Данный метод позволяет независимо определять нелинейный показатель преломления и коэффициент нелинейного поглощения. Установка z-сканирования (рис. 3) была разработана и соконструирована в рамках совместного РФФИ проекта (рук. Степанов А.Л.) между КФТИ КазНЦ РАН и Институтом физики Казанского федерального университета (КФУ).



Рис. 1. Держатель образцов в ускорителе с имплантированными стеклами, являющимися готовыми изделиями с нелинейно-оптическими свойствами.

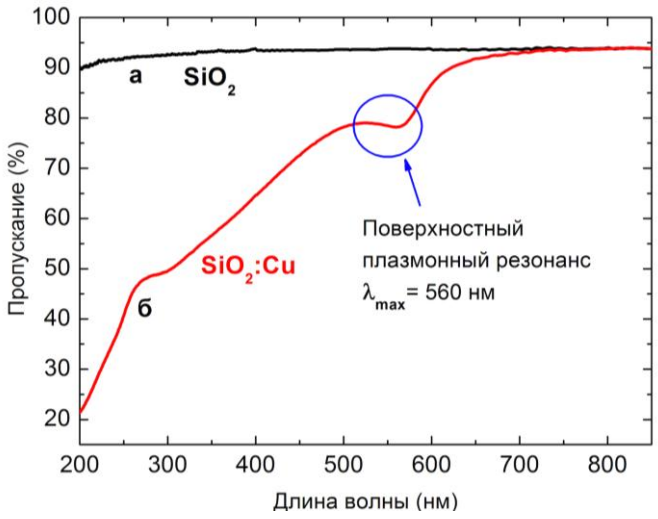


Рис. 2. Спектры пропускания а – SiO_2, б – $Cu:SiO_2$.

В экспериментах в качестве источника зондирующего излучения использовались перестраиваемый лазер на кристалле $Al_2O_3:Ti^{3+}$ Solar LS LX325 и лазер на красителях Института физики КФУ. После модернизации оптических схем лазеров удалось получить профиль распределения интенсивности излучения в дальней зоне, близкий к гауссову распределению.

Длительность лазерных импульсов измерялась при помощи быстродействующего фотодетектора и составила 3-6 нс для лазера на красителях, 10-30 нс для лазера на кристалле $Al_2O_3:Ti^{3+}$ в зависимости от длины волны генерации. Как показано на рис. 3, лазерный пучок фокусировался линзой с фокусным расстоянием 18 см. Радиус перетяжки в фокусе линзы составлял 10-15 мкм. Образец располагался на трансляторе с шаговым двигателем. Сигналы с фотодиодов оцифровывались с помощью 14-ти битного АЦП. Величина нормированного пропускания определялась как отношение амплитуды сигнала фотодиода 2 к сигналу фотодиода 1 в каждом импульсе и усреднялась по 300-500 импульсам для данного положения образца z. Для уменьшения влияния тепловых эффектов частота повторения импульсов не превышала 10 Гц.

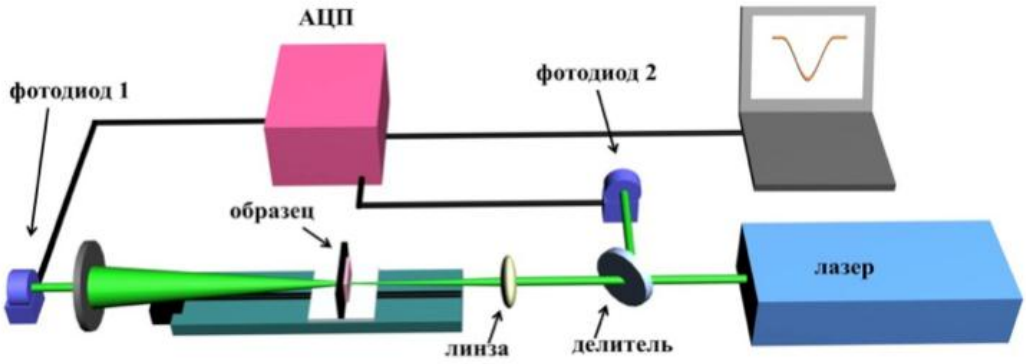


Рис. 3. Блок-схема установки для измерения нелинейно оптических характеристик методом z-сканирования.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение. Изучение нелинейных оптических свойств кварцевого стекла с наночастицами меди было проведено в широкой спектральной области 450-585 нм. В зависимости от длины волны лазера, образец $Cu:SiO_2$ проявлял либо нелинейное поглощение, либо нелинейное просветление. На рис. 4 представлены результаты измерений $T(z)$ $Cu:SiO_2$ образца на двух длинах волн - 510 и 560 нм, где значения соответствующих нелинейных коэффициентов максимальны. Необходимо отметить, что вид кривой пропускания, подобный представленному на рис. 4, может быть обусловлен также оптическим пробоем образца, что является результатом перегрева и последующим разрушением МН под действием лазерного излучения. В этом случае уменьшение $T(z)$ около фокуса линзы будет возникать за счет рассеяния лазерного излучения на области пробоя. Когда диаметр лазерного пучка становится сравним с этой областью, вклад от него будет наибольшим. Однако из проведенного эксперимента было определено, что величина порога лазерного разрушения образца в данных условиях лазерного воздействии, составляет величину ~ 4 мкДж. Поэтому все нелинейно-оптичес-кие измерения были выполнены при меньших энергиях лазерного излучения.

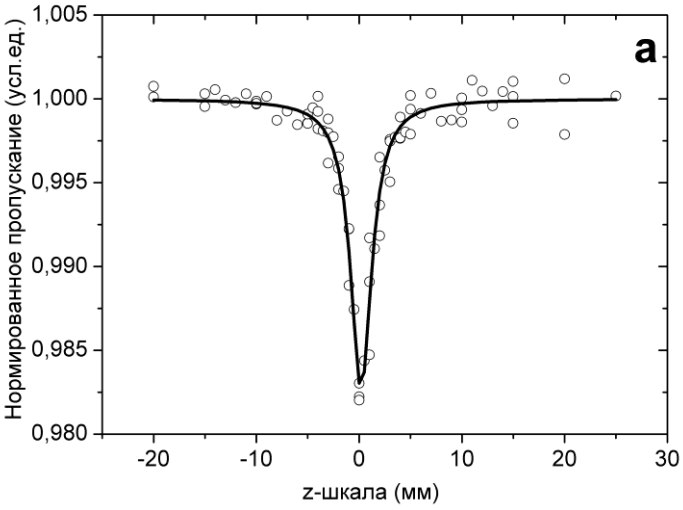


Рис. 4. Экспериментальные зависимости нормированного пропускания SiO_2 с наночастицами меди от положения образца относительно фокуса линзы (о) и результаты их аппроксимации данных по формуле (2): а – λ=510 нм, б – λ=560 нм.

Нелинейный коэффициент в случае вклада только от нелинейного поглощения может быть выражен как: $\alpha_{RSA}(I) = \alpha_1 + \beta_1 I$, а в случае только нелинейного просветления: $\alpha_{SA}(I) = \dfrac{\alpha_2}{1 + I/I_s}$, где α_i – линейный коэффициент поглощения (i = 1 или 2), I – интенсивность лазерного излучения, I_s – интенсивность насыщения и нелинейный коэффициент поглощения $\beta_1 > 0$. В приближении малой нелинейности, т.е. при условии $I << I_s$, что реализуется в настоящем эксперименте, коэффициент поглощения $\alpha_{SA}(I)$ равен: $\alpha_{SA}(I) = \alpha_2 - \alpha_2 I/I_s = \alpha_2 + \beta_2 I$, где $\beta_2 = -\alpha_2/I_s < 0$. Поэтому выражения для коэффициентов поглощения, как в случае только поглощения или только просветления, совпадают, но при этом отличаются по знаку β_i. В общем случае, пропускание в методе z-сканирования может быть получено из решения уравнения [9]:

$$dI / dz' = -(\alpha + \beta I) I, \quad (1)$$

где dz' – толщина в образце, на которую распространяется свет, α и β – линейный и нелинейный коэффициенты поглощения соответственно.

Для гауссова пучка зависимость $T(z)$ дается выражением [9]:

$$T(z) = 1 - I_0' L_{eff} \beta / (1 + z^2/z_0^2), \quad (2)$$

где I_0' – максимальная интенсивность лазерного пучка на его оси в перетяжке, L_{eff} – эффективная толщина слоя с МН, $L_{eff} = (1 - e^{-aL})/a$ (для исследуемого образца L≅100 нм); z_0 – дифракционная длина. Значение $I_0' L_{eff}$ определяется выражением:

$$I_0' L_{eff} = 1 - (1 - e^{-\alpha L}) E / (\alpha \pi^{3/2} \sqrt{2} \omega_0^2 \tau),$$

где E – энергия лазерного импульса, τ – длительность импульса лазера, ω_0 – размер перетяжки лазерного пучка.

Как показано на рис. 5, для исследуемого композиционного материала с наночастицами меди нелинейное поглощение преобладает в диапазоне 450-540 нм, а нелинейное просветление наблюдается в области 550-585 нм.

Таким образом, нелинейное просветление доминирует в спектральной области, где

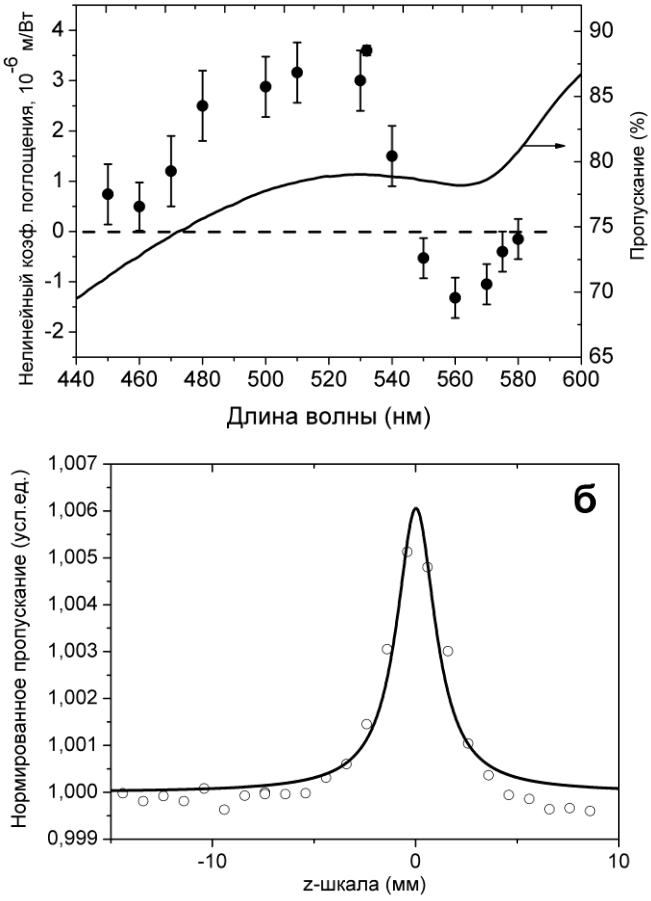


Рис. 5. Зависимость коэффициента нелинейного поглощения от длины волны (1) и спектр пропускания (2).

линейное поглощение определяется в основном ППР в наночастицах меди. Нелинейное поглощение наблюдается тогда, когда линейное поглощение возникает за счет возбуждения электронов из *d*-зоны частиц меди. Полученные в данном эксперименте результаты говорят о том, что за нелинейные эффекты в образце $Cu:SiO_2$ ответственны различные механизмы. Спектральная зависимость нелинейного коэффициента позволяет предположить, что нелинейное поглощение в диапазоне 450-540 нм обусловлено двухфотонным поглощением при переходах электронов из *d*-зоны в зону проводимости наночастиц меди, нелинейное просветление в области 550-585 нм – насыщением плазмонного поглощения [10, 11].

Заключение. При наносекундной длительности импульсов зондирующего лазерного излучения для кварцевого стекла с наночастицами меди, синтезированными методом ионной имплантации, в спектральной области 450-540 нм обнаружено нелинейное поглощение, в области 550-585 нм – нелинейное просветление. На основе полученных данных сделано предположение, что нелинейное поглощение обусловлено двухфотонными переходами электронов из квазилокализованной *d*-зоны, а нелинейное просветление связано с насыщением плазмонного поглощения.

А.Л. Степанов выражает благодарность Немецким научным фондам им. Александра фон Гумбольдта, DAAD, DFG и Королевскому обществу Великобритании. Т.С. Кавецкий выражает благодарность Словацкому академическому информационному агентству. Работа выполнена при частичной поддержке Программы ОФН РАН «Физика новых материалов и структур», при финансировании Министерством образования и науки РФ (Программа «Научные и научно-педагогические кадры для инновационной России», госконтракт № 02.740.11.0797), РФФИ (№ 11-02-90420, № 11-02-91341, № 12-02-00528 и № 12-02-97029) и ГФФИ Украины (№ Ф40.2/019).

Список литературы

[1] Sarychev A., Shalaev V.: Electrodynamics of metamaterials. London: World Sci. Publ. 2007. 278 p.
[2] Zhang J.Z.: Optical properties and spectroscopy of nanomaterials. London: Wold Sci. Pub. 2009. 310 p.
[3] Stepanov A.L.: Wiley encyclopedia of composites (Nikolais L., Borzacchiello G., eds.), pp. 28-39. Daveners: John Wiley & Sons Publ. 2012.
[4] Stepanov A.L.: Silver nanopartciles (Perez D.P., ed.), pp. 93-120. Vukovar: In-Tech. 2010.
[5] Stepanov A.L.: Ion-synthesis of silver nanoparticles and their optical properties. New York: Nova Sci. Publ. 2010.
[6] Степанов А.Л., Валеев В.Ф., Нуждин В.И., Попок В.Н.: Рос. нанотехнологии **6**, 60-63 (2011)
[7] Степанов А.Л.: Синтез и оптические свойства метаматериалов с металлическими наночастицами. Дис. на соиск. учён. степ. докт. физ.-мат. наук. Казань: КГУ 2009. 306 с.
[8] Kreibig U., Vollmer M.: Optical properties of metal clusters. Berlin: Springer 1995. 468 p.
[9] Sheik-Bahae M., Said A.A., Wei T., Hagan D.J., Van Stryland E.W.: IEEE J. Quan. Elect. **26**, 760-769 (1990)
[10] Hache F., Ricard D., Girard C.: Phys. Rev. B. **38**, 7990-7996 (1988)
[11] Hache F., Ricard D., Flytzanis C., Kreibig U.: Appl. Phys. A. **47**, 347-357 (1988)

СЖАТИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЭХО-СИГНАЛОВ ЧАСТОТНО МОДУЛИРОВАННЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

В. Е. Воробьева, А. Д. Тиранов, В. В. Самарцев

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН
(РФ, РТ, г. Казань, ул. Сибирский Тракт, д. 10/7, 420029)
ValVorobieva@rambler.ru

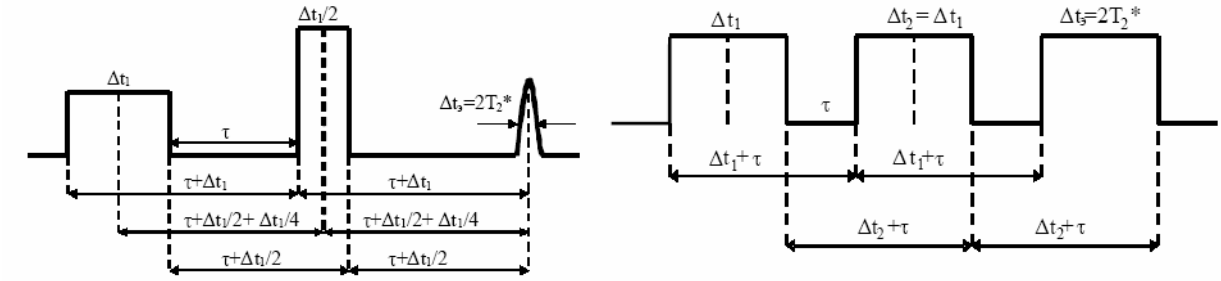
The techniques of numerical modeling of coherent optical responses, forming in resonant media with excited by means of frequency-chirped laser excitation pulses is developed. The result of numerical simulation of compression of optical pulses, excited by means of frequency-chirped laser excitation pulses, is given.

1. Введение. На сегодняшний день особый интерес вызывает взаимодействие последовательности лазерных импульсов с веществом, приводящее к появлению сигнала фотонного эха [1, 2], которое в настоящее время широко применяется для построения оптической памяти, обработки оптических сигналов и для создания оптического процессора, выполняющего сверхбыстрые логические операции (см. напр. [3]). В настоящее время в качестве рабочих сред в таких устройствах широко используются как кристаллы, допированные рекоземельными ионами так и различные газовые среды. Спектроскопические исследования таких сред могут быть выполнены как методами прямого, так и численного эксперимента [4]. Метод на основе конечных разностей по времени (FDTD) широко используется для решения уравнений Максвелла. Взаимодействие света с веществом может быть изучено более полно при включении в рассмотрение различных дифференциальных уравнений, например, кинетических уравнений или/и уравнений Блоха для атомных состояний [5, 6]. Данная методика была применена к описанию экспериментов по «сжатию длительности импульса фотонного эха».

Операция «сжатия длительности эхо-сигналов» является одной из основных операций когерентной обработки информации как в ядерном магнитном резонансе [7], так и в когерентной оптике [8]. При её экспериментальной реализации используются импульсы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) несущей частоты. В оптической эхо-спектроскопии такая методика впервые продемонстрирована Баем и Моссбергом в 1984 году [9], причем лазерные импульсы с линейной частотной модуляцией назывались «чирпированными» (chirp pulses) с полной шириной частоты модуляции $\Delta\nu_c$. Режим чирпирования широко используется при усилении ультракоротких импульсов (УКИ), а узел, осуществляющий чирпирование, называется стретчером. В работе [9] роль стретчера, по-существу, выполнял ADP–кристалл, находящийся в резонаторе кольцевого лазера на красителе. К этому прикладывалось переменное электрическое напряжение до 650 вольт, меняющее его показатель преломления на величину Δn, из-за чего несущая частота ν лазерных импульсов, прошедших ADP-кристалл, изменялась по линейному закону: $\nu = \nu_0\left(1-\frac{\Delta n l}{L}\right)$, где ν_0 – несущая частота на входе, l – длина кристалла, L – длина кольцевого резонатора; $\Delta n = \alpha V$; V – напряжение. Полная полоса чирпирования составляла 40 МГц для обоих возбуждающих импульсов, причем длительность первого импульса Δt_1=800нс в два раза больше второго Δt_2=400нс и, следовательно, скорость чирпирования второго импульса вдвое больше скорости чирпирования первого испульса. В качестве резонансной среды выступали пары атомарного иттербия (^{174}Yb), находящиеся в пятисантиметровой кювете в продольном (т.е. параллельном возбуждению) магнитном поле 65 Гс. Сигнал первичного фотонного эха (ПФЭ) распространялся в том же направлении, что и возбуждающие чирпированные лазерные импульсы. «Площадь» θ_1 первого импульса составляет $\pi/2$, а второго – $\theta_2 = \pi/4$.

2. Физическая модель, используемая при решении задачи о сжатии когерентных откликов в режиме первичного эха. В теории обработки сигналов в режиме ЯМР–эха [7] было показано, что длительность первичного эха не может быть короче 2T2*. При этом ширина его частотного спектра равна $\delta\nu_э \approx 1/T_2$. При этом установлено, что для реализации операции сжатия принципиально важно, чтобы длительность первого импульса Δt1 была вдвое больше длительности второго импульса Δt2. Убедимся в этом графически (см. Рис. 1). С методикой для расчета форм-фактора сигнала сжатого первичного и стимулированного фотонного эха можно ознакомиться в статье [10].

Различают два способа сжатия импульсов: двухимпульсное (рис.1) и трехимпульсное. Эти способы основаны на использовании первичного и стимулированного фотонного эха, соответственно. При расчете эхо-откликов полученных с помощью ЛЧМ-импульсов, необходимо учитывать изменение частоты во время действия импульса. Тогда изменится и оператор эволюции, что приведет к изменению матрицы плотности, значения форм-фактора и интенсивности отклика по сравнению с обычными сигналами фотонного эха и световой индукции. Значение для форм-фактора сжатого первичного фотонного эха выглядит следующим образом: $\Phi_э^{лчм}(t) \approx \exp\left\{-\frac{k^2}{\alpha^2}\frac{1}{T_2^{*2}}\left(t-2\tau-\frac{3}{2}\Delta t_1\right)^2\right\}$, где k – коэффициент сжатия, α – корректирующий член. В отсутствии сжатия «ПФЭ», при k=1, экспонента, как положено, оказывается аналогичной экспоненте обычного форм-фактора ПФЭ.



А) случай $\Delta t_{2=} \Delta t_1/2$ Итак, мы убедились, что эхо отклики от всех фронтов импульсов формируются в один и тот же момент времени $t_э=2\tau+2\Delta t_1$, т. е. через время $\tau+\Delta t_1/2$ после заднего фронта второго импульса.

Б) случай $\Delta t_{2=}\Delta t_1$ Итак, в этом случае $\Delta t_{э=}\Delta\Delta t_{2=}\Delta t_1$. Это самый неудачный случай для реализации операции сжатия

Рис. 1. Графический анализ различных случаев возбуждения ПФЭ

На основе изложенной в работе [4] техники расчета могут быть описаны различные экспериментальные результаты, в том числе и, сужение сигнала фотонного эхо при возбуждении резонансной среды последовательностью чирпированных импульсов [10]. Рассмотрим случай возбуждения двухуровневой среды чирпированными оптическими импульсами. Последовательность импульсов, выбранная здесь, состоит из трех импульсов с линейной модуляцией спектра рис. 2 (а), где скорость модуляции первого импульса в два раза меньше по сравнению с последующими (200 ТГц/пс и 400 ТГц/пс, соответственно). Эти скорости модуляции могут быть непосредственно замечены на рис. 2 (б, в) по неодновременности возбуждения различным участков неоднородного контура.

Как показано на рис. 2 (в), первый чирпированный импульс заставляет участки различных расстроек возбуждаться последовательно, так, что второй импульс интерферометрическим образом генерировал чирпированную решетку населенностей. Как и

прежде третий импульс рассеивается на спектральной решетке и за счет площади равной π/2 эффективно переводит населенность в экваториальную плоскость для всего контура.

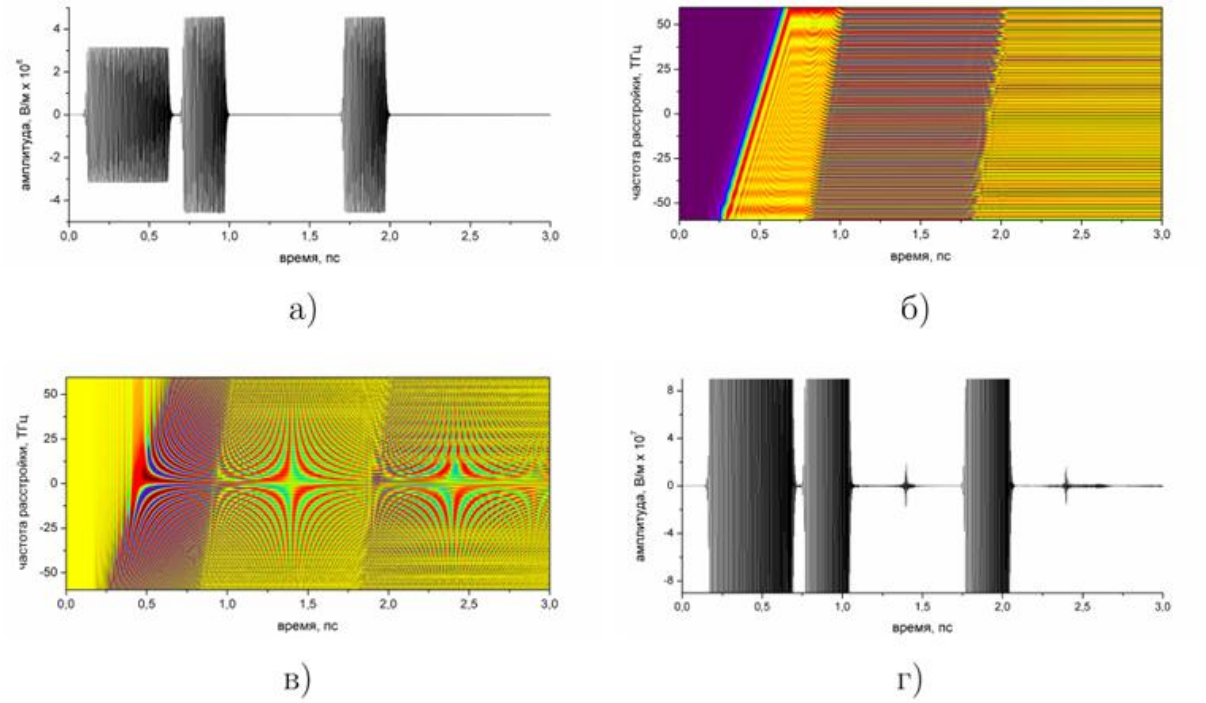


Рис. 2. Результаты моделирования сжатия сигналов фотонного эха в случае возбуждения неоднородно уширенной двухуровенвой системы тремя частотно модулированными фемтосекундными импульсами (а). После двух первых импульсов, последовательно возбуждающих каждую спектральную компоненту, в среде формируется спектральная решетка инверсии населенностей (б). Каждая спектральная компонента за счет модуляции возбуждается в определенный момент и вращается на сфере Блоха со своей частотой, что изображено на графике для синфазной компоненты вектора Блоха (в). В результате, на выходе наблюдается временное сжатие сигналов первичного и стимулированного фотонного эха (г).

3. Заключение. Была кратко продемонстрирована методика расчета характеристик сигнала ПФЭ, возбуждаемого чирпированными лазерными импульсами. Развитые методики расчета могут быть использованы и при расчете других когерентных откликов типа спада свободной поляризации (ССП) или стимулированного фотонного эха. Можно ожидать, что для сигнала ССП его форм-фактор будет пропорционален следующей экспоненте $\exp\left\{-\frac{k^2}{T_2^{*2}}(t-\Delta t_1)^2\right\}$. Поэтому из-за наличия k^2 в этой экспоненте временной спад ССП будет более коротким, а сам сигнал ССП – сжатым.

На основе реализации конечноразностного итерационного алгоритма было произведено численное решение системы уравнений Максвелла-Блоха без использования приближений быстровращающегося поля и медленноменяющейся огибающей. Смоделировано формирование сжатого первичного и стимулированного фотонного эха последовательностью фемтосекундных импульсов в неоднородно уширенной среде. Полученные результаты подтверждают сжатие сигналов фотонного эха. В дальнейшем метод может быть использован для сравнения с результатами других моделей и их апробирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-02-00878-а,12-02-00651а, 10-02-00173а), Программы Президиума РАН "<Квантовая физика конденсированных сред">.

Список литературы

[1] У.Х. Копвиллем, В.Р. Нагибаров, Физика металлов и металловедение. **11** (1963) 313.
[2] N.A. Kurnit, I.D. Abella, S.R.Hartmann, Phys. Rev. Lett. **13** (1964) 567.
[3] A. Rebane, M. Drobizhev, Ch. Sigel, W. Ross, J. Gallus, J. Lumin. **325** (1999) 83.
[4] A.S. Nagra, R.0A. York, IEEE Trans. Antennas Propag **46** (1999) 334.
[5] R.W. Ziolkowski, J.M. Arnold, D.M. Georgy, Phys. Rev. A. **52** (1995) 3082.
[6] М.И. Куркин, Е. А. Туров, ЯМР в высокоупорядоченных веществах и его применение. М. : Наука. (1990).
[7] И. В. Евсеев, Н. Н. Рубцова, В. В. Самарцев, Когерентные переходные процессы в оптике. М. : Физматлит. (2009).
[8] Y. C. Bai, T. W. Mossberg, Opt. Lett. **11** (1986) 30
[9] В.Е. Воробьева, В.В. Самарцев, Материалы пятой международной научной школы «Наука и инновации – 2010», (2010) 58.
[10] А.Д. Тиранов, К.Р. Каримуллин, В.В. Самарцев, Известия РАН Серия Физическая, **76**, №3 (2012) 343.

ОПТИМАЛЬНАЯ СХЕМА ВРЕМЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОДНОФОТОННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ СПОНТАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ

И. З. Гильмутдинов, И. З. Латыпов, А. В. Шкаликов, А. А. Калачев, В. В. Самарцев

Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского
Российская Федерация, Республика Татарстан, 420029,
г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7
E-mail: bibidey@mail.ru

Введение. Использование однофотонных состояний электромагнитного поля в качестве носителей информации предполагает создание эффективных источников однофотонных волновых пакетов. Одним из перспективных подходов к проблеме создания таких источников является условное приготовление однофотонных состояний в режиме спонтанного параметрического рассеяния (СПР). Основной проблемой в этом случае является случайный характер СПР. Для того чтобы сделать однофотонный источник детерминированным, то есть испускающим фотоны в заданные моменты времени, предполагается использовать мультиплексирования нескольких источников. С экспериментальной точки зрения наиболее простым вариантом является временное мультиплексирование. В этом случае нелинейный кристалл подвергается воздействию последовательности лазерных импульсов, а рождающиеся в случайные моменты времени фотоны задерживаются в управляемой оптической линии задержки. Эффективность такого источника существенным образом зависит от потерь в оптической линии задержки, так что принципиальным является её оптимизация.

Цель настоящей работы – оптимизация оптической линии задержки, используемой при временном мультиплексировании нескольких однофотонных источников на основе СПР, для достижения максимальной степени детерминированности генерации однофотонных состояний.

Временное мультиплексирование. Чтобы сделать однофотонный источник на основе СПР детерминированным, можно использовать управляемую линию задержки для холостого фотона, который выпускается периодически, в строго фиксированные моменты времени, независимо от момента генерации триггерного импульса. Данная идея была предложена и

реализована Питманом [1]. Использование нескольких импульсов накачки может значительно увеличить вероятность генерации фотона за период, сохранив при этом малость вклада многофотонных состояний, если импульсы накачки слабы. В этом и состоит идея временного мультиплексирования. Если импульсов достаточно много, то повышается вероятность того, что, по крайней мере, один из них приведет к генерации, но при этом вероятность генерации пары фотонов за один импульс будет мала. Таким образом, мы можем преобразовать недетерминированный процесс в периодический за счет задержки, например, одного фотона на 20 входных импульсов. Пренебрегая потерями, вероятность успеха получения ровно одного фотона можно улучшить за счет увеличения количество входных импульсов за цикл, сохраняя лишь небольшую вероятность получения более чем одного фотона. Аналогичным образом, можно улучшить эффективность однофотонного источника за счет пространственного мультиплексирования, т.е. путем активного переключения сигналов от нескольких источников и сведения их в один выходной, в зависимости от того, детектор какого источника сработал. Этот подход был предложен Мигдаллом [2]. В случае временного мультиплексирования важным является уменьшение потерь в оптической линии задержки. Рассмотрим схему временного мультиплексирования, изображенную на рис. 1. В этой схеме на нелинейный кристалл подаются импульсы накачки с определенным периодом T, так что пары фотонов генерируются в случайные промежутки времени. Холостые фотоны направляются на детектор, и соответствующий сигнальный фотон направляются в управляемую линию задержки. В зависимости от момента детектирования холостого фотона, один сигнальный фотон направляется к выходу в определенный момент времени, в то время как любые другие фотоны отвергаются. Таким образом, получается схема однофотонного источника, испускающего фотоны с периодом NT.

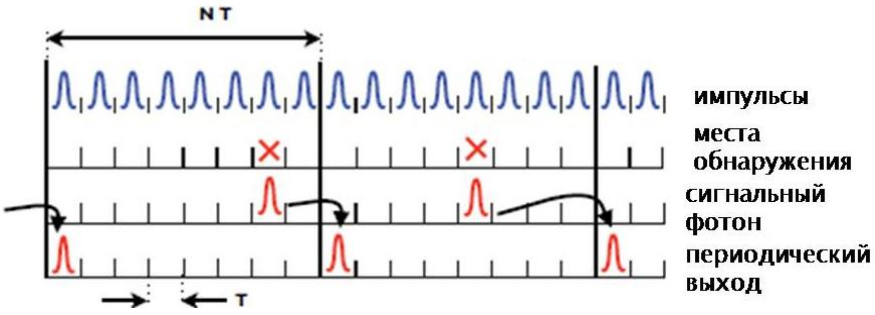


Рис. 1. Нелинейный кристалл возбуждается импульсами накачки с периодом T, в результате чего происходит генерация пар фотонов в случайные моменты времени, соответствующие импульсам накачки. Детектирование холостого фотона оповещает о наличии сигнального фотона, который передается в оптическую линию задержки, где он задерживается до окончания периода NT.

Можно изменить схему и вместо одной линии задержки использовать схему из двух, трех или более линий задержек, что уменьшит общее количество обходов через них (Рис. 2).

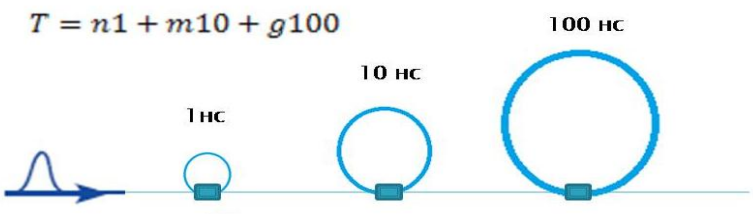


Рис. 2. Сигнальный фотон попадает в схему состоящая из трех линий задержек, которые задерживают фотон на 1нс, 10 нс, 100нс и трех переключателей (маршрутизаторов), через которые фотон отправляется либо в линию задержки либо проходит дальше.

Например, если у нас была одна линия задержки, которая могла за один обход задержать фотон на 1 нс, то количество обходов при задержке, скажем на 325 нс, было бы гораздо больше (325 обходов), чем, если бы мы использовали три линии задержки, которые задерживали бы фотон на 1 нс, 10 нс, 100нс (5+2+3=10 обходов). То есть время, на которое нужно задержать фотон, можно распределить по трем или более линиям задержки и при этом уменьшить количество обходов, а значит увеличить эффективность на выходе. Однако при этом возможны потери на переключателях, через которые фотон либо отправляется в линию задержки, либо проходит дальше. Поскольку переключатели в такой схеме представляют со-

бой основной источник потерь, принципиально важным является сокращение их числа. Определим эффективности генерации источника как вероятность того, что один фотон испускается за один цикл, т.е. в интервале *NT*. Эффективность источника во многом зависит от пропускной способности переключателей и линий задержки. Целесообразно рассмотреть эффективность для предельных случаев малых и больших *N*. Для небольшой степени мультиплексирования *N*, потери сигнальных фотонов являются низкими, поскольку схема содержит только короткие задержки и несколько переключателей. Эффективность получается низкой, прежде всего, поскольку используется слабая накачка. При больших *N*, эффективность увеличивается, но увеличивается и количество коммутаторов и линий задержек, что, в конце концов, становится решающим фактором. Чтобы найти значение *N*, которое приводит к максимальной эффективности при заданных потерях, нужно детально изучить весь процесс, и понять, как зависит эффективность от числа переключателей.

Моделирование. Пусть цикл временного мультиплексирования состоит из n импульсов накачки, разделённых интервалом T. Если бифотон генерируется во время i-го импульса, то осуществляется задержка сигнального фотона на время $(N-i)T$. Таким образом, любой сигнальный фотон, который генерируется в пределах цикла, испускаются так, как будто он был сгенерирован последним импульсом накачки. Пусть η_{delay} есть эффективность (пропускание) оптической линии задержки (олз) за время T, а η_{sw} – эффективность (пропускание) маршрутизаторов, используемых в олз. Число прохождений сигнального фотона через маршрутизаторы при заданной задержке обозначим через $N_{sw}(i,N)$. Если, например, олз состоит из трёх циклов, задерживающих на время a^0T, a^1T, a^2T, так что $N-i=A_0a^0+A_1a^1+A_2a^2$, ТО $N_{sw}(i,N)=A_0+A_1+A_2+3$.

Поле СПР можно записать в следующем виде:

$$|\Psi\rangle_{\text{СПР}} = c_0|0_s\rangle|0_i\rangle + c_1|1_s\rangle|1_i\rangle + \cdots,\ c_n = [th(r)]^n/ch(r) \qquad (1)$$

Если p_n– вероятность фотоотсчёта при взаимодействии детекторас n-фотонным состоянием ($p_n = 1-(1-\eta)^n$, где η – эффективность детектора), то

$$P_{hrld} = p_1|c_1|^2 + p_2|c_2|^2 + \cdots \qquad (2)$$

есть вероятность триггерного импульса (оповещения) после воздействия одного импульса накачки. Пусть $P(n)$– вероятность обнаружить n-фотонное состояние на выходе источника после одного цикла мультиплексирования. Тогда оператор плотности выходного поля можно записать в виде:

$$\rho_{out} = \left(1-\sum_n P(n)\right)|0\rangle\langle 0| + \sum_n P(n)\,|n\rangle\langle n| \qquad (3)$$

Если выходным фотоном является тот, который соответствует первому за цикл триггерному импульсу, то:

$$P(n) = p_n|c_n|^2 \sum_{i=1}^{N}(1-P_{hrld})^{i-1}\left(\eta_{delay}\right)^{N-i}(\eta_{sw})^{N_{sw}(i,N)} \qquad (4)$$

Если же остаётся фотон, соответствующий последнему триггерному импульсу, то

$$P(n) = p_n|c_n|^2 \sum_{i=1}^{N}(1-P_{hrld})^{N-i}\left(\eta_{delay}\right)^{N-i}(\eta_{sw})^{N_{sw}(i,N)} \qquad (5)$$

Эффективность источника, т.е. вероятность генерации однофотонного состояния за один цикл мультиплексирования, равна

$$Eff = P(1) \qquad (6)$$

Качество источника, т.е. вклад однофотонного состояния в полное состояние на выходе источника (без учёта вакуумной компоненты), равно:

$$F = P(1) \Big/ \sum_{n} P(n) \qquad (7)$$

Вероятность триггерного импульса за один цикл (вероятность оповещения) равна вероятности отсутствия вакуумного состояния на выходе при нулевых потерях:

$$P_{trig} = 1 - (1 - P_{hrld})^N = \sum_{i=1}^{N} (1 - P_{hrld})^{i-1} P_{hrld} \qquad (8)$$

Для начала определим оптимальное значение a, определяющее отношение времён обхода в линиях задержки, при котором достигается максимальное значение эффективности для различных значений N. Рассмотрим три случая: N=10, 100 и 1000. Для эффективности оптической линии задержки возьмём значение η_{delay}=0,999, а для эффективности маршрутизаторов η_{sw}=0,95. Рассмотрим случай, когда оставляется фотон от первого триггерного импульса. Зависимости эффективности источника от параметра a приведены на рис. 3. Аналогичным образом рассматривается случай, когда оставляется фотон от последнего триггерного импульса. Результаты расчета приведены на рис. 4. Рассчитав максимумы этих графиков мы получим, что эффективность максимальна при α=2,05, когда N=10, при α=4,65, когда N=100, и при α=6,55, когда N=1000.

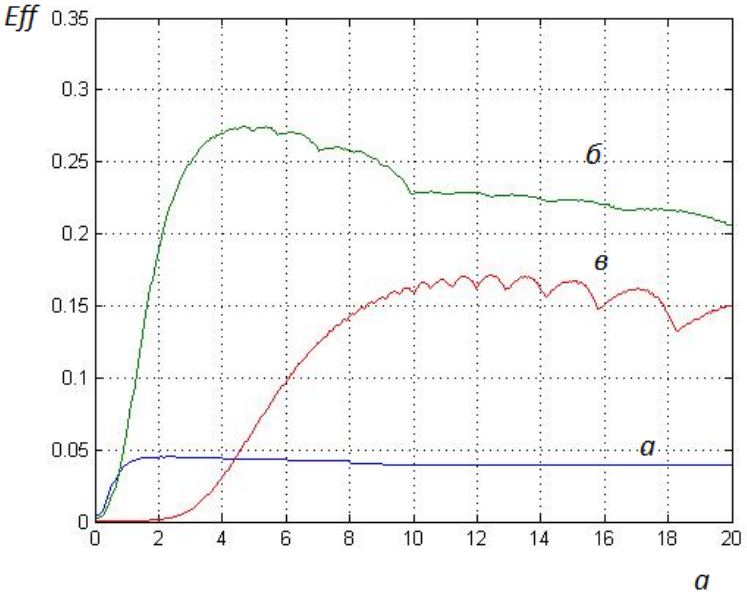


Рис. 3. Графики зависимости эффективности от параметра линии задержки a, для различного числа импульсов накачки. N=10(а) N=100(б) N=1000(в). Рассчитав максимумы этих графиков мы получим, что эффективность максимальна при $a = 2{,}45$, когда N=10, при $a = 5{,}35$, когда N=100, и при $a = 12{,}45$, когда N=1000.

Таким образом, эффективность однофотонного источника существенным образом зависит от устройства оптической линии задержки. Минимальное число прохождений сигнального фотона через переключатели, при котором достигается максимальная эффективность, зависит от схемы мультиплексирования (по первому или по последнему триггерному импульсу) и от степени мультиплексирования. Чем выше степень мультиплексирования, тем больше должно быть значение a, которое играет роль основания в системе счисления, используемой для представления общего времени задержки через сумму времен задержки разного разряда. Использование оптимального параметра a, позволяет при больших значениях N более чем в два раза повысить эффективность по сравнению с общепринятым случаем a=2. Рассмотрим теперь зависимость эффективности и качества источника от вероятности оповещения при различных значениях параметра накачки r (от 0 до 0,1) и оптимальном значении параметра a. Результаты расчета приведены на рисунках 4 и 6 (эффективность) и 5 и 7 (качество):

1) когда оставляется фотон от первого триггерного импульса;
2) когда оставляется фотон от последнего триггерного импульса.

Из анализа рисунков следует, что при заданном параметре накачки (r=0.1) вероятность оповещения растет с увеличением степени мультиплексирования N, приближаясь к единице. Эффективность однофотонного источника при этом также растет, достигая некоторого максимального значения, зависящего от величины потерь. При этом эффективность мультиплексирования по последнему триггерному импульсу оказывается существенно выше, поскольку среднее время задержки результирующего фотона в этом случае получается меньше.

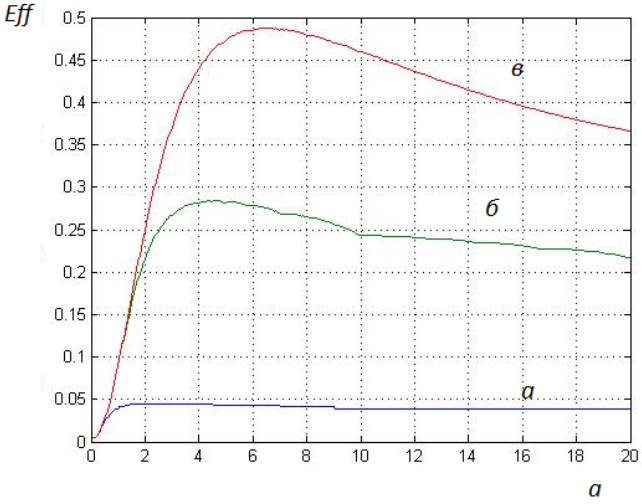


Рис. 4. Графики зависимости эффективности от параметра линии задержки *a*, для различного числа импульсов накачки. *N*=10(а) N=100(б) N=1000(в)

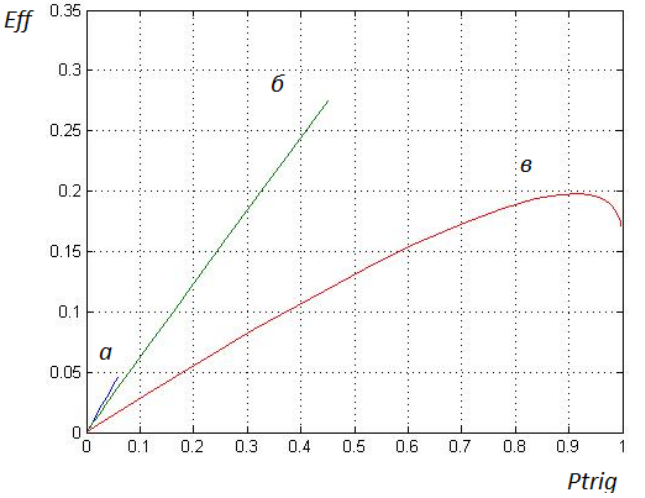
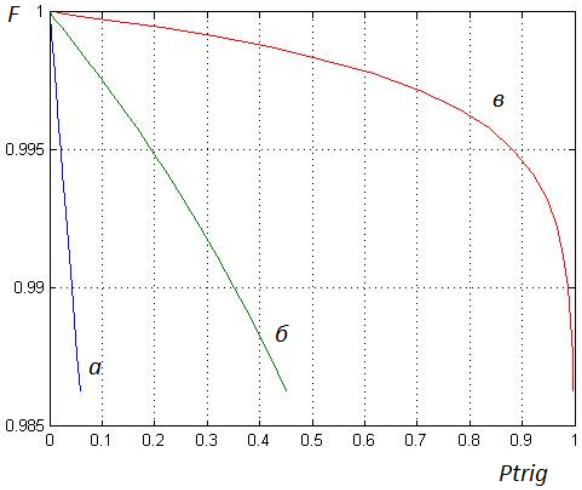


Рис. 5. График зависимости качества источника от вероятности триггерного импульса (оповещения) для различного числа импульсов накачки. *N*=10(а) *N*=100(б) *N*=1000(в)



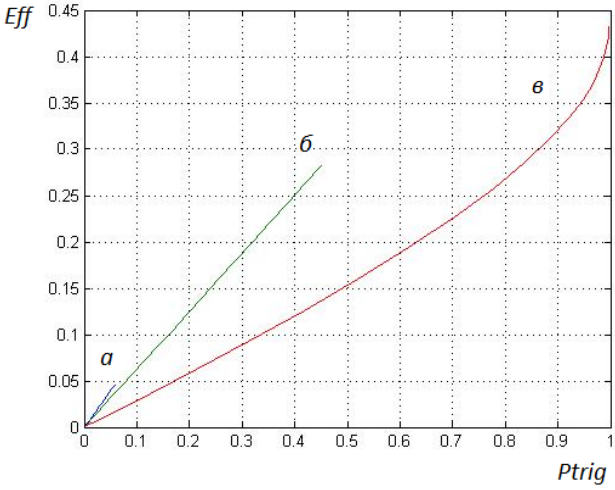


Рис. 6. График зависимости эффективности от вероятности триггерного импульса (оповещения) для различного числа импульсов накачки. *N*=10(а) N=100(б) N=1000(в)

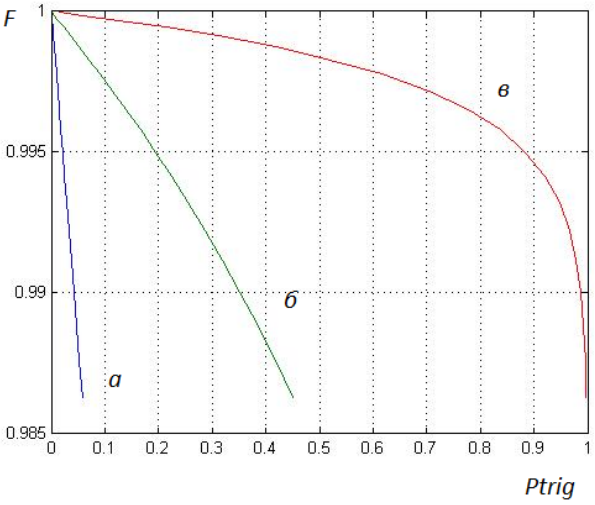


Рис. 7. График зависимости качества источника от вероятности триггерного импульса (оповещения) для различного числа импульсов накачки. *N*=10(а) N=100(б) N=1000(в)

Что касается качества источника, то его минимальное значение не зависит от схемы мультиплексирования и определяется, как и должно быть, максимальным значением параметра накачки. В случае мультиплексирования по последнему триггерному импульсу качество источника (степень совпадения результирующего состояния с однофотонным) оказывается на уровне 99% при эффективности источника около 45%.

Заключение. В данной работе делан расчет зависимости эффективности, вероятности оповещения и качества однофотонного источника на основе спонтанного параметрического рассеяния от степени мультиплексирования и соотношения времен обходов в составляющих оптиче-

ской линии задержки при различных схемах временного мультиплксирования (по первому и последнему триггреному импульсу). Показано, что наиболее высокая эффективность однофотонного источника достигается в случае мультиплексирования по последнему триггерному импульсу. Определены оптимальные значения отношения времен обхода в составляющих оптической линии задержки, при которых достигаются минимальные потери. Показано, что оптимальные параметры оптической линии задержки зависят от степени мультиплексирования. При использовании оптимальной схемы временного мультиплексирования эффективность однофотонных источников на основе спонтанного параметрического рассеяния света может достигать 40% при степени совпадения результирующего состояния с однофотонным 99%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-02-00878-а,12-02-00651а, 10-02-00173а), Программы Президиума РАН "<Квантовая физика конденсированных сред">, а также грантом Президента РФ МК-4277.2011.2.

Список литературы

[1] Pittman T B Single photons on pseudodemand from stored parametric down-conversion / Pittman T B, Jacobs B C and Franson J D // Phys. Rev. A 66 (2002) 042303.
[2] A. L. Migdall Tailoring single-photon and multiphoton probabilities of a single-photon on-demand source / A. L. Migdall, D. Branning, and S. Castelletto // Phys. Rev. A 66, 053805 (2002).

ИСТОЧНИКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ПЕРЕПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ

А. А. Калачев[1], И. З. Латыпов[1], В. В. Самарцев[1,2], А. В. Шкаликов[1]

[1]Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН
[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: andrei_vs@rambler.ru

В работе рассмотрены методы создания источников поляризационно-перепутанных состояний. Основное внимание уделено источникам на основе спонтанного параметрического рассеяния (СПР) света.

1. Введение. Квантовые перепутанные состояния нескольких частиц являются особенностью квантовой механики [1] и играют ключевую роль в квантовой теории информации, физике квантовых вычислений, квантовой связи и квантовой криптографии [2]-[4]. Перепутанность представляет собой особую квантовую форму корреляций, отличную от классических корреляций, и связанную с когерентными суперпозиционными состояниями составных систем. [5]

За двадцать лет исследований перепутанных двухфотонных состояний научный прогресс прошел стадию научного любопытства и перешел к практической реализации. Перепутанные фотоны являются важнейшим компонентом в процессе создания квантовой связи и линейных оптических квантовых вычислений. К сожалению, применение большинства схем ограничено, в первую очередь из-за стохастического характера источников [6].

В данной работе будут рассмотрены методы и схемы получения перепутанных состояний между отдельными фотонами по мере их реализации. В квантовой оптике перепутывание между отдельными фотонами можно охарактеризовать перепутыванием между следующими компонентами этих фотонов: перепутывание по энергии-времени, по поляризации и волновому вектору, частоте и волновому вектору, поляризации и частоте [2,6]. С экспериментальной точки зрения наиболее удобно оперировать перепутыванием по поляризации и волновому вектору (далее поляризационным), так как существует, широки набор инструмен-

тов и схем, позволяющих приготавливать, управлять и измерять поляризационное состояние отдельных фотонов. Процесс СПР позволяет приготавливать идентичные однофотонные волновые пакеты, управлять их формой и длительностью. Таким образом, далее будем рассматривать методы создания поляризационного перепутывания на основе СПР.

2. Поляризационное перепутывание в нелинейном кристалле при втором типе синхронизма. Первый яркий источник пар фотонов перепутанных по поляризации и волновому вектору был реализован в 1995 году [7] совместно двумя группами. В основе используемого метода лежит простая техника получения поляризационно-перепутанных состояний – спонтанное параметрическое рассеяние (СПР) второго типа синхронизма в одном нелинейном кристалле BBO. В случае второго типа СПР генерация фотонов происходит в два конуса, в одном конусе фотоны поляризованы ортогонально накачке, в другом – параллельно. В случае вырожденного неколлинеарного синхронизма эти два конуса, выходящие из одной точки в кристалле, пересекаются в двух линиях (рис. 1.). Вдоль этих двух направлений распространяются фотоны как из одного конуса (вертикально поляризованные), так и из второго конуса (горизонтально поляризованные). Таким образом, фотоны, распространяющиеся вдоль этих линий, представляют собой перепутанное состояние, и могут быть описаны следующим образом: $|\psi\rangle = \left(|H_1, V_2\rangle + e^{i\alpha}|V_1, H_2\rangle\right)/\sqrt{2}$, где H и V – горизонтальная и вертикальная поляризация. Поскольку рождение пары фотонов происходит в нелинейной двулучепреломляющей среде, то скорости и направления распространения вертикального и горизонтального фотонов будут отличаться и, как следствие, возникают продольные и поперечные отстройки. Благодаря этим расстройкам фотоны в направлениях 1 и 2 становятся различимыми.

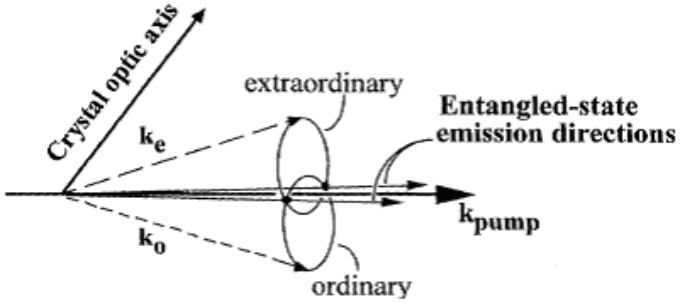


Рис. 1. Конусы спонтанного параметрического рассеяния во втором типе фазового синхронизма. Коррелированные фотоны лежат на противоположных сторонах относительно накачки.

Продольная расстройка представляет собой максимальную временную задержку [8] на выходе из кристалла между горизонтально и вертикально поляризованным фотонами: $\delta T = L\left(1/u_0 - 1/u_e\right)$. Поперечная отстройка – это относительное смещение между ортогональными фотонами в поперечной плоскости луча накачки $d = L\tan\rho$, где ρ – угол между горизонтальным и вертикальным лучами внутри кристалла. При распространении накачки в кристалле фотоны рождаются случайно в любой части кристалла. В случае рождения пары в начале кристалла задержка между ними максимальна, если пара рождается в конце кристалла – минимальная. Для компенсации задержки между фотонами можно использовать нелинейные кристаллы, оптическая ось которых повернута на 90° относительно луча накачки. Тогда фотоны, которые были обыкновенными в первом кристалле, станут необыкновенными для второго кристалла и наоборот. В зависимости от степени нелинейности можно подобрать длину компенсирующего кристалла, но идеальным будет использование такого же (который использовался при генерации СПР) кристалла половинной длины. Таким образом, создается неопределенность рождения фотонов относительно середины кристалла. Такой же метод можно использовать и для компенсации поперечной расстройки, если он необходим (если d сравнима с диаметром луча накачки).

Таким образом, создан источник поляризационно-перепутанных пар фотонов. Данный источник позволяет приготавливать все четыре состояния Белла. В Эксперименте видимость двухфотонной интерференции составила 97%.

3. Метод получения поляризационно перепутанных фотонов с помощью СПР первого типа. Следующий важный шаг в развитии источников поляризационно-перепутанных состояний был сделан в 1999 году [9]. Он основан на давно предложенном Д.Н.Клышко методе [10] создания перепутывания на основе синхронизма СПР первого типа. Использование первого типа позволило значительно повысить яркость источника. Идея метода состоит в использовании двух одинаковых тонких нелинейных кристаллов (СПР I типа), находящихся друг за другом таким образом, что их оптические оси повернуты друг относительно друга на 90° вокруг луча накачки. В этом случае, при вертикально поляризованной накачке процесс СПР идет только в первом кристалле, при горизонтально поляризованной накачке – во втором. Если накачка поляризована под углом 45°, то можно одновременно наблюдать СПР из двух кристаллов одновременно. Как следствие получаем максимально перепутанное состояние: $|\psi\rangle = \left(|H,H\rangle + e^{i\varphi}|V,V\rangle\right)/\sqrt{2}$, где φ определяется полуволновой пластинкой, вращающей поляризацию накачки.

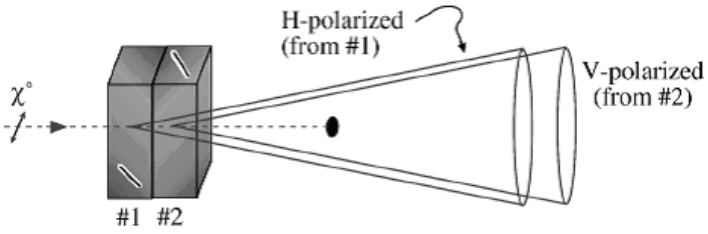


Рис. 2. Идея метода получения перепутывания в двух одинаковых кристаллах BBO. Кристаллы ориентированы таким образом, что их оптические оси лежат в двухвзаимно ортогональных плоскостях.

В работе [9] была впервые экспериментально продемонстрирована возможность создания пар перепутанных фотонов из двух кристаллов СПР первого типа. Поворот плоскости поляризации накачки позволяет менять степень двухфотонной перепутанности. Спектральная яркость полученного источника составила 2000 пар/(с×мВт×нм).

4. Источник поляризационно перепутанных фотонов на основе поляризационного интерферометра Саньяка. Принципиально новым этапом на пути создания источников перепутанных состояний была экспериментальная реализация, основанная на поляризационном интерферометре Саньяка [11], где накачка возбуждала кристалл с регулярной доменной структурой PPKTP одновременно с двух сторон. Это не первая работа, в которой кристалл накачивался одновременно с двух сторон[12]. Ранее такие эксперименты также были реализованы в интерферометре Маха-Цандера. Однако, интерферометр Маха-Цандера имеет два недостатка. Он очень чувствителен к любым возмущениям среды (температура, колебания) и, как следствие, требует активной обратной связи на пьезодвигателях. А наличие больших потерь пространственных мод в плечах интерферометра значительно снижают степень перепутывания пар фотонов. В поляризационном интерферометре Саньяка таких недостатков не существует. С точки зрения увеличения яркости источника применение коллинеарного синхронизма позволило значительно повысить её т.к. увеличилась область взаимодействия волн. На рис. 3. показана работа источника на основе поляризационного интерферометра Саньяка накачиваемого с двух сторон. Поляризационный интерферометр Саньяка строится на основе поляризационного светоделителя (PBS), двух зеркал, нелинейного кристалла и полуволновой пластинки (HWP). Накачка направляется на светоделитель с помощью дихроического зеркала (DM), которое отражает накачку и пропускает сигнальный и холостой фотоны. В описываемом эксперименте частоты сигнального и холостого фотонов были равны. Состояние на выходе интерферометра можно описать так: $|\psi\rangle = \left(|H_{s1},V_{i2}\rangle + e^{i\phi}\beta|V_{s1},H_{i2}\rangle\right)/\sqrt{2}$, где β – относительная амплитуда, определяющая отношение компонент E_H/E_V. Продемонстрирован простой и надежный источник поляризационно перепутанных пар фотонов. Коллинеарный синхронизм и двунаправленная накачка позволяет генерировать 5000 пар/(с×мВт×нм) фотонов, а видимость квантовой интерференции (основного показателя неразличимости фотонов) составила 96,8%. Одинаковый путь в интерферометре Саньяка позволил избавиться от необ-

ходимости стабилизации фазы бифотонного состояния на выходе в отличии от источников на основе интерферометра Маха-Цандера.

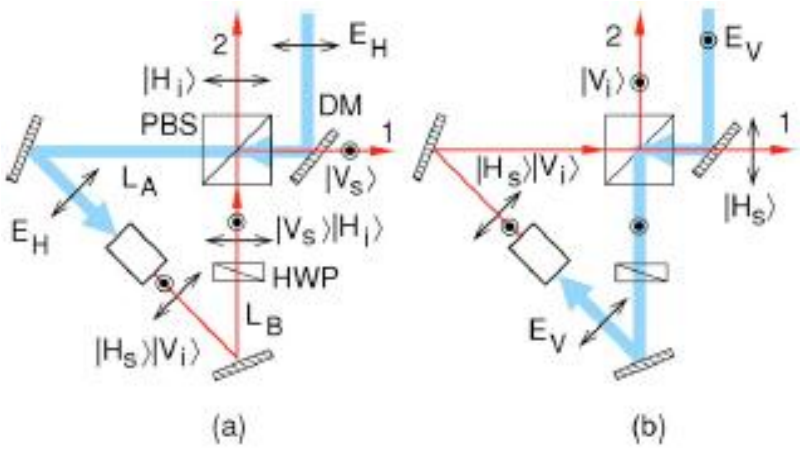


Рис. 3. Поляризационный интерферометр Саньяка для одновременного двустороннего возбуждения кристалла PPKTP a) горизонтально поляризованной и b) вертикально поляризованной компонентами накачки.

5. Получение поляризационно перепутанных фотонов в интерферометре основанном на свойствах двулучепреломляющих кристаллов. В 2008 г. M. Fiorentino и R. G. Beausoleil представили несколько источников [13] поляризационно-перепутанных состояний, основанных на смещающих поляризационных интерферометрах. Преимущества таких источников в высокой интенсивности качественно перепутанных пар фотонов, компактности и возможности работы, как от непрерывной, так и импульсной накачки. Все представленные источники основаны на явлении двулучепреломления в нелинейном кристалле. В кристалле обыкновенно и необыкновенно поляризованные пучки распространяются под разными углами, а при выходе из кристалла тоже преломляются под разными углами и распространяются коллинеарно. Таким образом можно разделить один пучок на два ортогонально поляризованные. И точно также их можно соединить в один пучок. На основе этого явления можно построить интерферометр. Такие интерферометры впервые появились для реализации линейных оптических квантовых вычислений [14]. Их основное преимущество состоит в низкой чувствительности к колебаниям оптических компонент. Рассмотрим вариант источника пар поляризационно-перепутанных фотонов, представленный на рис. 4. Луч накачки расщепляется и верхний пучок вращается на 90°. В результате коллинеарного вырожденного СПР второго типа в кристалле PPKTP генерируются пары фотонов на длине волны 810 нм. Бифотоны разделяются на поляризационном светоделителе и, проходя через полуволновые пластины верхние и нижние пучки, объединяются. Поскольку данный источник использует коллинеарный тип синхронизма он может генерировать больше фотонов, чем неколлинеарный, поскольку имеет большую длину взаимодействия.

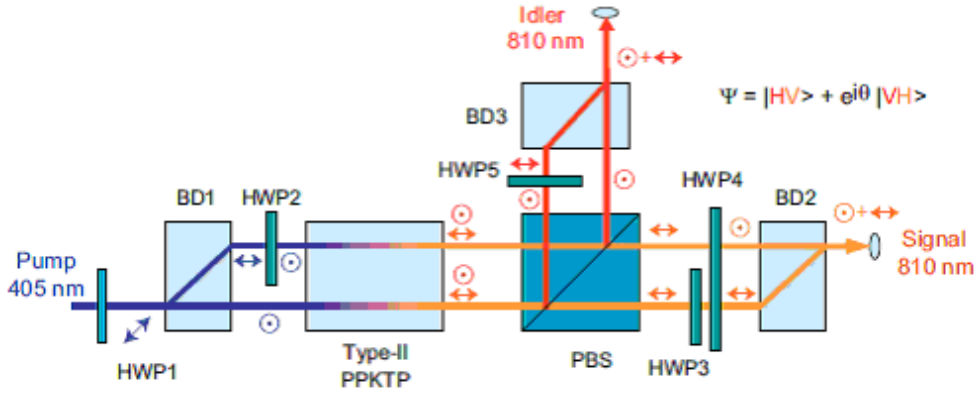


Рис. 4. Схема компактного вырожденного источника поляризационно перепутанных состояний.

В работе [14] предложена новая схема для получения перепутаных состояний на основе поляризационных интерферометров. Экспериментально показано, что такая схема может использоваться как с импульсной так и с непрерывной накачкой. Использование такой схемы в работе [15] позволило достичь спектральной яркости 123000 пар/(с×мВт) на длине волны 1550 нм.

6. Предвещающий источник поляризационно перепутанных состояний. Как уже отмечалась ранее основная проблема в создании устройств обработки информации на основе фотонов случайность рождения фотонов в процессе СПР света. Поэтому следующий важный этап на пути создания идеальных источников перепутанных пар фотонов направленный на практическое применение таких источников был сделан в недавней работе [16], где представлен первый предвещающий источник пар фотонов максимально перепутанных по поляризации. Он основан на одновременной генерации трех пар фотонов, четыре вспомогательных фотона используются для предвещения поляризационно-перепутанной пары фотонов. На рис. 5. представлена схема установки, где на выходе t1, t2 генерируется состояние: $|\psi\rangle = \left(|H,H\rangle + e^{i\varphi}|V,V\rangle\right)/\sqrt{2}$. Недостатком такого предвещающего источника является тот факт, что невозможно получить фотон в точно определенное заданное экспериментатором время. Кроме того, скорость генерации пар фотонов чрезвычайно низкая. И тем не менее, этот эксперимент впервые продемонстрировал процесс предвещающего приготовления перепутанных по поляризации пар фотонов. Условное приготовление позволило достичь высокой эффективности приготовления – 77%, а измеренное фиделити составило 84%.

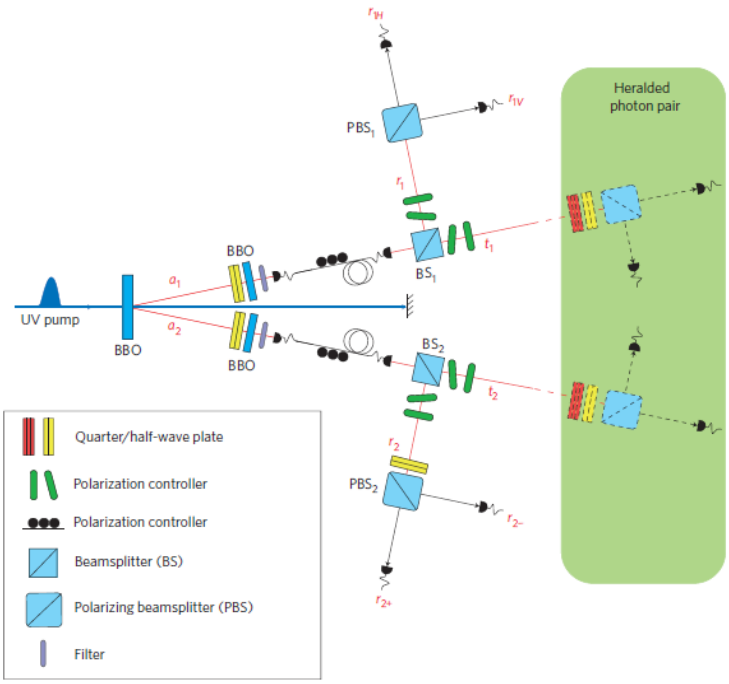


Рис. 5. Схема установки для предвещающей генерации перепутанного состояния

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-02-00878-а,12-02-00651а, 10-02-00173а), Программы Президиума РАН "<Квантовая физика конденсированных сред">, а также грантом Президента РФ МК-4277.2011.2.

Список литературы

1. Л. Мандель, Э. Вольф *Оптическая когерентность и квантовая оптика*: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Самарцева – М. Наука, Физматлит (2000) – 896с., ид. – ISBN 5-9221-0073-4.
2. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. *Физика квантовой информации*. Пер. с англ. / Под ред. С.П. Кулика – М.: ПостмаркетМир (2002).
3. Валиев К.А. *Успехи физических наук*, **175** (2005) 3.
4. A. Ekert, *Phys. Rev. Lett*. **67** (1991) 661
5. Нильсен М., Чанг И. *Квантовые вычисления и квантовая информация*. М.: Мир (2006) 824 с
6. М.В.Чехова. *Поляризационные и спектральные свойства бифотонных полей* Док. дисс. (2004)
7. P.G. Kwiat, K. Mattle, H. Weinfurter, A. Zeilinger *Phys. Rev. Lett*. **81**, (1995) 4339
8. M. H. Rubin, D. N. Klyshko, Y.H. Shih, and A. V. Sergienko, *Phys. Rev. A* **50** (1994) 5122
9. A.G. White, V. James, P.H. Eberhard, P.G. Kwiat *Rev. Lett*. **83** (1999) 3103
10. D. N. Klysko, *Phys. Lett. A* **132** (1988) 299
11. T. Kim, M. Fiorentino, Franco N. C. Wong *Phys. Rev. A* **73** (2006) 012316
12. M. Fiorentino, G. Messin, C. E. Kuklewicz, F. N. C. Wong, J. H. Shapiro, *Phys. Rev. A* **69** (2004) 041801.
13. M. Fiorentino, R.G. Beausoleil *OPTICS EXPRESS* **16**, №24 (2008) 20149

14. J. L. O'Brien, G. J. Pryde, A. G. White, T. C. Ralph, and D. Branning Demonstration of an all-optical quantum controlled-NOT gate *Nature* **426**, (2003) 264
15. P.G. Evans, et al. *PRL*, **105** (2010) 253601
16. S.Barz1, G.Cronenberg, A. Zeilinger, P. Walther *Nature Photonics* **4** (2010) 553

FDTD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КОГЕРЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРИМЕСНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

К. Р. Каримуллин[1,2], А. Д. Тиранов[2], В. В. Самарцев[2]

[1]ФГБУН Институт спектроскопии Российской академии наук
(142190, Москва, Троицк, ул. Физическая, 5)
[2]ФГБУН Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН
(420029, Татарстан, Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7)
e-mail: kamil@isan.troitsk.ru

Проведен теоретический анализ и выполнены модельные расчеты спектральных и фотофизических характеристик примесных конденсированных систем при их взаимодействии с модулированными ультракороткими лазерными импульсами. Анализ результатов расчетов выполнен в сравнении с экспериментальными данными, полученными в работах других авторов.

1. Введение. Активные исследования когерентных переходных процессов и кооперативных оптических явлений, например, фотонного эха [1,2] и оптического сверхизлучения [3], тесно связаны с перспективой создания квантовых устройств хранения, обработки и передачи информации [4,5]. Подобные устройства, способные записывать и воспроизводить квантовые состояния света, являются основными элементами оптических квантовых компьютеров. Другой причиной интереса является возможность использовать эти явления для оптической обработки информации, преобразования и усиления оптических импульсов, а также создания источников когерентного излучения [6,7]. Выбор активного материала, лежащего в основе таких устройств, определяет максимально возможную информационную емкость, времена хранения информации, а также радиационные свойства. Актуальные исследования в данной области направлены на поиск возможных кандидатов путем изучения всевозможных твердотельных систем: стекла, полимеры [8], полупроводниковые гетероструктуры, нано- и метаматериалы с различными примесями (ионы, атомы, молекулы, нанокристаллы, квантовые точки). В настоящее время в качестве рабочих сред в таких устройствах широко используются кристаллы, допированные редкоземельными ионами [9,10]. В этих средах информационную емкость может быть оценена как отношение неоднородной ширины рабочего перехода среды к его однородной ширине, и достигать значения 10^7 [11].

Перспективным способом управления радиационным временем жизни является внедрение оптических центров в активно исследуемые в настоящее время метаматериалы с показателем преломления, близким к нулю на частоте резонансного перехода. Такие материалы способны модифицировать излучение внедренных источников [12–14], и могут быть использованы, например, для сужения диаграммы направленности точечного источника света [12] и коррекции волнового фронта [13,14]. Спектроскопические исследования таких сред могут быть выполнены как методами прямого, так и численного эксперимента [15,16]. Метод на основе конечных разностей во временной области (FDTD) широко используется для решения уравнений Максвелла. Взаимодействие света с веществом может быть изучено более полно при включении в рассмотрение различных дифференциальных уравнений, например, кинетических уравнений или/и уравнений Блоха для атомных состояний [16]. Это дает широкие возможности для анализа взаимодействия излучения с веществом во всевозможных конфи-

гурациях. В нашей работе [17] развита методика численного моделирования процессов когерентного взаимодействия лазерного излучения с неоднородно уширенной средой без использования приближений быстровращающегося поля и медленноменяющейся амплитуды. В данной работе развитая методика применена для численного исследования временных и частотных свойств когерентных откликов модельной двух- и трехуровневой неоднородно уширенной среды на воздействие последовательности фемтосекундных импульсов с целью описания экспериментов по спектральному кодированию в фемтосекундном эхо-процессинге, сжатию сигналов фотонного эха и оптическому запиранию населенности.

2. Моделирование взаимодействия лазерных импульсов с двухуровневой резонансной средой. Рассмотрим случай возбуждения двухуровневой резонансной среды частотно-модулированными (чирпированными) лазерными импульсами. Чирпированные импульсы технологически важны, так как они позволяют управлять спектральным профилем излучения, при использовании как модулируемых лазеров непрерывного излучения малой интенсивности, так и мощных импульсных лазеров с ограниченной шириной полосы [18].

Последовательность импульсов, выбранная в работе [18], состоит из трех импульсов с линейной модуляцией спектра (рис. 1, а), где скорость модуляции первого импульса в два раза меньше по сравнению с последующими (200 ТГц/пс и 400 ТГц/пс, соответственно). Эти скорости модуляции могут быть непосредственно замечены из (рис. 1, б,в) по неодновременности возбуждения различных участков неоднородного контура. Такая последовательность была выбрана так, чтобы привести к эффективному сжатию сигналов фотонного эха с ограниченным спектром [17]. Как показано на рис. 1, в, первый чирпированный импульс заставляет различные спектральные компоненты неоднородного контура возбуждаться последовательно, так, чтобы второй импульс интерферометрическим образом генерировал чирпированную решетку населенностей. Третий импульс рассеивается на спектральной решетке и за счет площади равной $\pi/2$ эффективно переводит населенность в экваториальную плоскость для всего контура. По мере движения каждой спектральной компоненты, за счет соотношения модуляции возбуждающих импульсов, макроскопическая поляризация наводится в узком временном интервале, что приводит к эффективному сжатию сигнала стимулированного эха. Полимерные пленки, допированные молекулами красителя, являются перспективными средами для приложений, способных функционировать при высоких (не криогенных) температурах, в частности, в качестве носителей информации в оптических эхо-процессорах [15]. Структура таких сред сильно разупорядочена, что ведет к широкой неоднородной полосе поглощения.

В случае допированных красителем полимерных пленок ширина линии может превысить несколько терагерц, что позволяет использовать их для оптических процессоров, работающих с широкополосными фемтосекундными оптическими сигналами. Логические операции могут выполняться и для импульсов фемтосекундного диапазона при комнатной температуре [19], несмотря на существенное увеличение однородного уширения, что налагает ограничения на спектр импульсов возбуждения. Для моделирования фемтосекундного эхо-процессинга в спектральной области также может быть применен вышеописанный метод. Параметры системы задавались близкими к параметрам эксперимента по поразрядному логическому умножению с использованием нелинейного оптического отклика полимерной пленки на последовательность фемтосекундных импульсов [19]. Они принимали следующие значения: длина образца L=100 мкм, N=10^{24} м$^{-3}$, γ=10^{-29} Кл·м, ω_0=2π·375 ТГц, λ=800 нм, T_1=10 пс и T_2=60 фс. Неоднородное уширение составляло 40 ТГц, контур задавался в виде гауссиана и разбивался на 500 точек. Входное поле задавали в виде последовательности из трех импульсов (рис. 2, а). Первый и третий импульсы представляли собой $\pi/2$-импульсы длительностью 50 фс, спектр второго импульса имел провал на центральной длине волны (рис. 3), длительность импульса составляла 150 фс. В результате, на выходе из образца формируются ПФЭ после первых двух импульсов через промежуток времени равный длительности между импульсами t_{12}, и СФЭ в момент t_3+t_{12}, где t_3-момент появления третьего импульса (рис. 2, *б*).

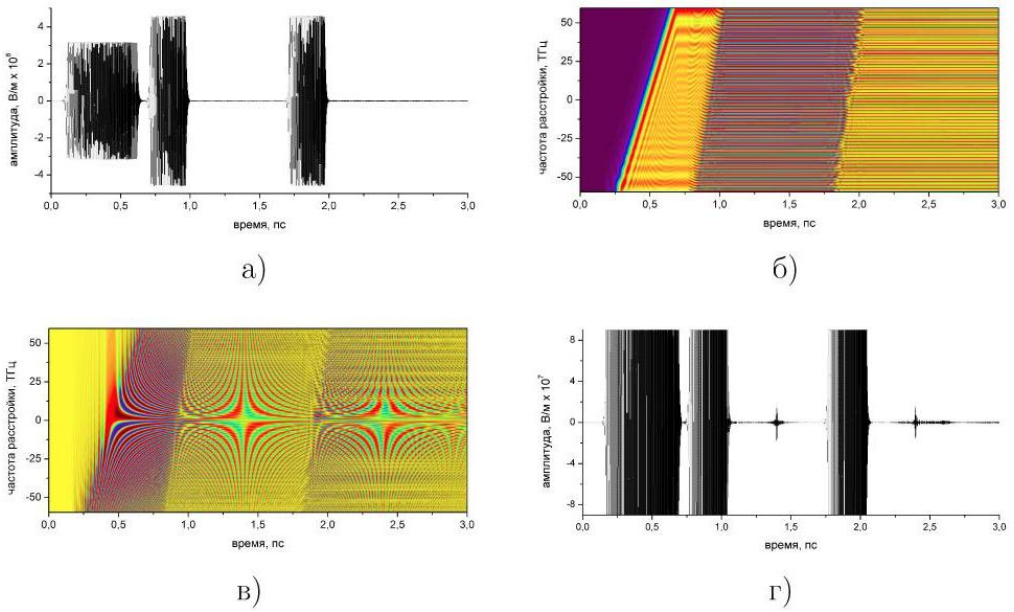


Рис. 1. Результаты моделирования сжатия сигналов фотонного эха в случае возбуждения неоднородно уширенной двухуровневой системы тремя частотно модулированными фемтосекундными импульсами (а). После двух первых импульсов, последовательно возбуждающих каждую спектральную компоненту, в среде формируется спектральная решетка инверсии населенностей (б). Каждая спектральная компонента за счет модуляции возбуждается в определенный момент и вращается на сфере Блоха со своей частотой, что изображено на графике для синфазной компоненты вектора Блоха (в). В результате, на выходе наблюдается временное сжатие сигналов первичного и стимулированного фотонного эха (г).

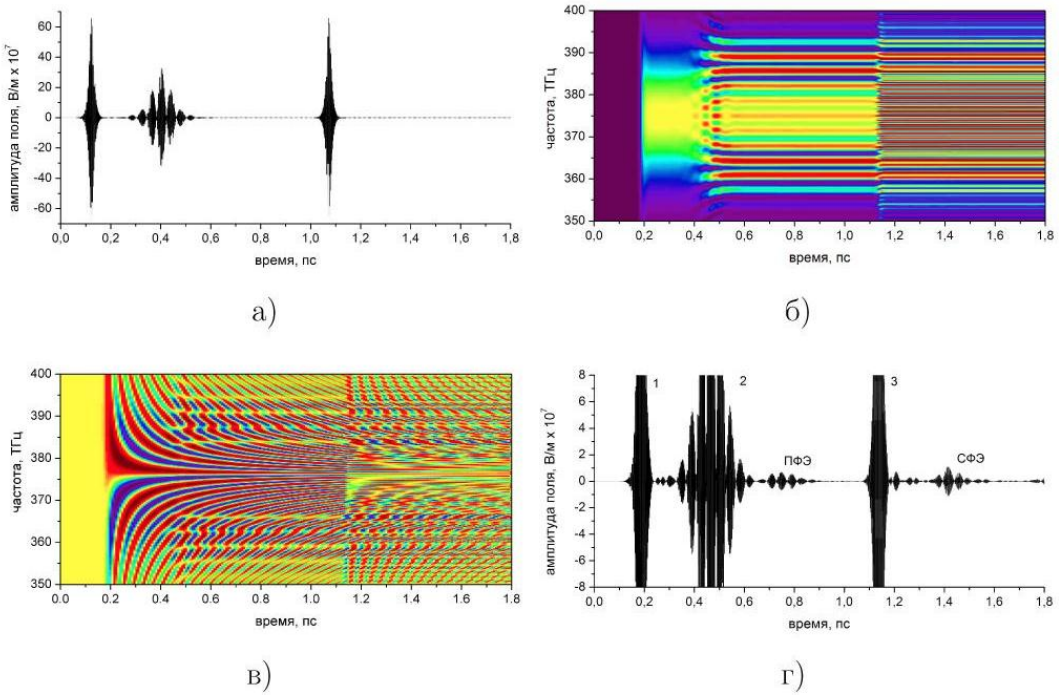


Рис. 2. Результаты моделирования фемтосекундного эхо–процессинга в случае возбуждения неоднородно уширенной двухуровневой системы тремя частотно модулированными фемтосекундными импульсами (а). После двух первых импульсов в среде формируется спектрально неоднородная решетка инверсии населенностей (б). Спектральный контур системы из-за модуляции входных импульсов возбуждается неоднородно, в результате некоторая его часть не взаимодействует с импульсами, что изображено на графике для синфазной компоненты Вектора Блоха (в). В результате этого на выходе наблюдаются частотно модулированные сигналы первичного и стимулированного фотонного эха (г).

За счет неоднородности спектра второго импульса возбуждаются только часть неоднородного контура, поэтому в формировании ПФЭ центральная часть спектра остается незадействованной, в результате спектр ПФЭ оказывается частотно-неоднородным. После подачи двух импульсов в образце формируется решетка инверсной населенности, на которой рассеивается третий импульс, формируя сигнал СФЭ. В случае модулированных сигналов решетка оказывается частотно избирательной, в результате чего сигнал СФЭ имеет спектр, изображенный на рис. 3.

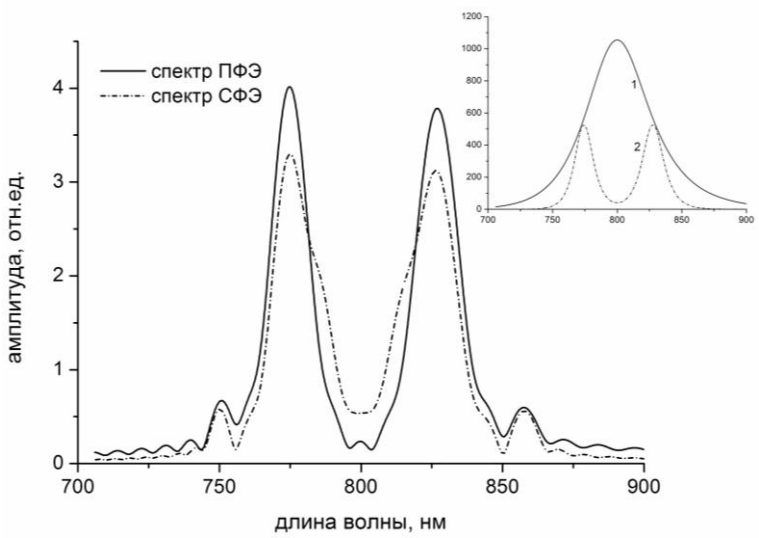


Рис. 3. Спектры сигналов ПФЭ и СФЭ, рассчитанных для описания эксперимента по спектральному кодированию информации в полимерной пленке [19]. На врезке спектры входных импульсов.

3. Взаимодействие с трехуровневой средой. Предложенная схема численного решения системы уравнений Максвелла-Блоха для двухуровневой системы может быть развита и для более сложного случая, например, для трехуровневой среды, дипольный момент одного из переходов которой равен нулю. В этом случае используется тот же подход для записи системы уравнений для численного решения, что и прежде. При возбуждении такой системы последовательностью лазерных импульсов наблюдалось множество эффектов, Среди которых, например, оптическое запирание населенности [20], электромагнитно индуцированная прозрачность [21] и другие. С помощью эффекта оптического запирания населенности можно значительно увеличить время хранения информации в режиме стимулированного фотонного эха. Это достигается путем переноса решетки населенностей системы на уровень |2> с большим временем продольной релаксации (рис. 4, а). Процесс переноса населенности управляется последовательностью импульсов C_1 и C_2 с частотой вспомогательного перехода ω_{23} (рис. 4, б). Условия восстановления фазы: $\theta_{C_1} + \theta_{C_2} = 4\pi n$, $\theta_{C_1} = (2n-1)\pi$.

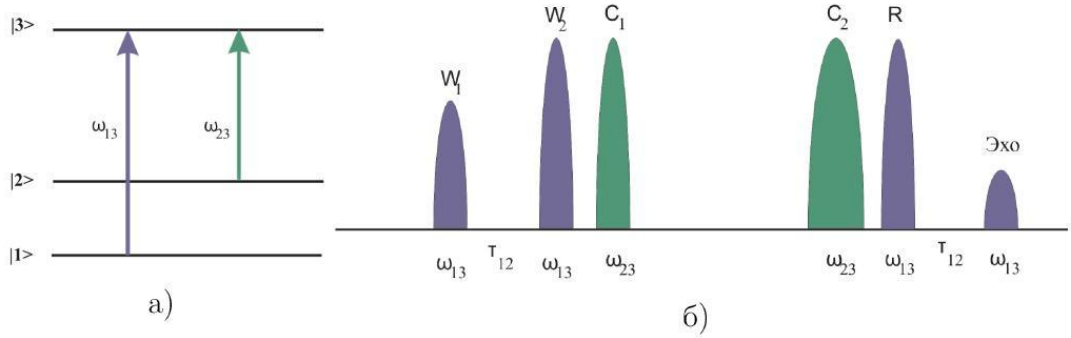


Рис. 4. Схема энергетических уровней (а). Схема осуществления оптического запирания для трехуровневой системы (б). После двух первых записывающих импульсов *W* с частотой основного перехода |1> — |3> подается контролирующий импульс C_1, который переводит населенность системы с |3)-его на |2)-ой уровень. Второй контролирующий импульс C_2 восстанавливает решетку населенности на основном переходе |1> — |3>. Считывающий импульс *R*, рассеиваясь на решетке, приводит к появлению эхо-сигнала.

Для моделирования эффекта оптического «запирания» с помощью последовательности фемтосекундных импульсов был применен метод конечных разностей по времени для решения системы Максвелла-Блоха для трехуровневой системы. Параметры системы принимали следующие значения: L=100 мкм, дипольный момент равен $\gamma=10^{-29}$ Кл·м, $N=10^{24}$ м$^{-3}$, $\omega_{13}=2\pi\cdot375$ ТГц, $\omega_{23}=2\pi\cdot275$ ТГц, λ_{13} = 800 нм, T_{33} = 50 фс, T_{22} = 10 пс, T_{13} = 60 фс, T_{23} = 60 фс. Неодно-

родное уширение составляло 30 ТГц, контур задавался в виде гауссиана и разбивался на 500 точек. Входное поле задавалось в виде последовательности из пяти фемтосекундных импульсов. Первый (W_1), второй (W_2) и пятый (R) импульсы имели частоту основного перехода ω_{13} и представляли собой $\pi/2$ – импульсы длительностью 50 фс (рис. 5, а), первый контролирующий импульс C_1 на частоте ω_{23} имел площадь $\theta_{C_1} = \pi$, второй контролирующий импульс C_2 на частоте ω_{23} для выполнения условия восстановления фазы имел площадь $\theta_{C_2} = 3\pi$. В результате, на выходе из образца после подачи считывающего импульса R на частоте ω_{13} формируется сигнал стимулированного фотонного эха через промежуток времени равный длительности между записывающими W импульсами τ_{12} (рис. 5, г). Время жизни верхнего уровня |3> задавалось малым по сравнению с уровнем |2>, поэтому сигнал СФЭ не наблюдался бы на таких промежутках времени. За счет того, что время жизни второго уровня превышает время эксперимента, «запертая» на нем населенность спадает незначительно в промежуток между контролирующими импульсами, давая возможность генерации сигнала СФЭ в любой момент в пределах времени жизни уровня |2>.

4. Заключение. В работе методами численного решения системы уравнений Максвелла Блоха без использования приближений быстровращающегося поля и медленноменяющейся огибающей проанализированы схемы возбуждения двух- и трехуровневых сред. Результаты моделирования показывают адекватность описания временных и частотных свойств взаимодействия излучения с веществом. На основе реализованного алгоритма описаны результаты эксперимента по фемтосекундному эхо–процессингу. Смоделировано формирование спектров первичного и стимулированного фотонного эха последовательностью фемтосекундных импульсов в среде, эквивалентной полимерной пленке. Описана временная динамика процесса «оптического запирания» населенности в случае взаимодействия фемтосекундных импульсов с трехуровневой системой.

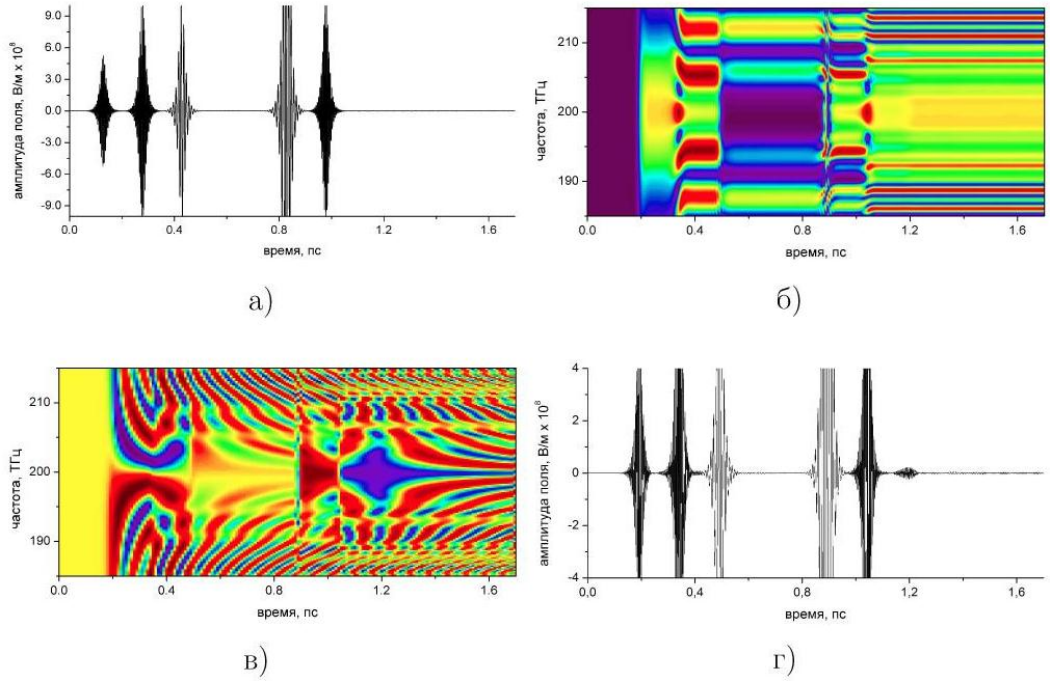


Рис. 5. Результаты моделирования оптического запирания населенности в случае возбуждения неоднородно уширенной трехуровневой системы фемтосекундными импульсами (а). После двух первых □/2-импульсов с частотой основного перехода подается контролирующий импульс, который переводит населенность системы с уровня |3> на |2>. Второй контролирующий импульс восстанавливает решетку населенности на основном переходе |1> — |3>. В результате, после подачи считывающего импульса, происходит сфазирование псевдодиполей, которую видно на графике для синфазной компоненты вектора Блоха на переходе |1> — |3> (в). На выходе наблюдается сигнал СФЭ (г) на частоте основного перехода |1>— |3>.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №12-02-31381-мол_а, при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 10-02-00004а, № 10-02-90000-Бел_а, № 11-02-00040-а), Президиума РАН и ОФН РАН (Программы «Квантовая физика конденсированных сред» и «Фундаментальная оптическая спектроскопия и её приложения), ГК № 16.740.11.0590 (ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.) и Программы государственной поддержки ведущих научных школ РФ (проект 3470.2010.2).

Список литературы

[1] Копвиллем, У.Х. Световое эхо на парамагнитных кристаллах / У.Х. Копвиллем, В.Р. Нагибаров // Физика металлов и металловедение. - 1963. – Т. 15, № 2. – С. 313-315.
[2] Kurnit, N.A. Observation of a photon echo / N.A. Kurnit, I.D. Abella, S.R. Hartmann // Phys. Rev. Lett. – 1964. – V. 13, N. 19. – P. 567–570.
[3] Dicke, R. H. Coherence in spontaneous radiation processes / R. H. Dicke // Phys. Rev. - 1954. - V. 93, N. 1. - P. 99–110.
[4] Tittel, W. Photon-echo quantum memory in solid state systems / M. Afzelius, T. Chaneliere, R.L. Cone [et. al.] // Laser & Photonics Reviews. – 2010. – V. 4, N. 2. – P. 244–267.
[5] Kalachev, A. Coherent control of collective spontaneous emission in an extended atomic ensemble and quantum storage / A. Kalachev, S. Kroll // Phys. Rev. A. – 2006. – V. 74, N. 2. – P. 023814.
[6] Rebane, A. Ultrafast optical processing with photon echoes / A. Rebane, M. Drobizhev, Ch. Sigel [et. al.] // J. Lumin. – 1999. – V. 325, N. 1–3. – P. 83–84.
[7] Калачев, А.А. Когерентные явления в оптике / А.А. Калачев, В.В. Самарцев. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2003. – 281 с.
[8] Konturov, S.V. Femtosecond photon echo in dye-doped polymer film at liquid nitrogen temperature / S.V. Konturov, V.S. Lobkov, K.M. Salikhov [et. al.] // Laser Phys. Lett. – 2005. – V. 2, N. 1. – P. 21–24.
[9] Kaplyanskii, A. A. Spectroscopy of solids containing rare earth ions / A.A. Kaplyanskii, R.M. Macfarlane. - North-Holland, Amsterdam: Elsevier, 1987.– P. 486.
[10] Знаменский, Н.В. Спектры и динамика оптических переходов редкоземельных ионов в кристаллах. / Н.В. Знаменский, Ю.В. Малюкин. – М.: Физматлит, 2008. – 3–14 с.
[11] Samartsev, V.V. State of the art in the development of optical echo-processors / V.V. Samartsev // Laser Phys. – 1998. – V. 8, N. 6. – P. 1198–1207.
[12] Enoch, S. A metamaterial for directive emission / S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux [et. al.] // Phys. Rev. Lett. – 2002. – V. 89, N. 21. – P. 213902–4.
[13] Ziolkowski, R. W. Propagation in and scattering from a matched metamaterial having a zero index of refraction / R.W. Ziolkowski // Phys. Rev. E. – 2004. – V. 70, N. 4. – P. 046608–12
[14] Al`u, A. Epsilon-near-zero metamaterials and electromagnetic sources: Tailoring the radiation phase pattern / A. Al`u, M.G. Silveirinha, A. Salandrino, N. Engheta // Phys. Rev. B. – 2007. – V. 75, N. 15. – P. 155410–13.
[15] Nagra, A.S. FDTD analysis of wave propagation in nonlinear absorbing and gain media / A.S. Nagra, R.A. York // IEEE Trans. Antennas Propag. – 1998. – V. 46, N. 3. – P. 334–340.
[16] Schlottau, F. Modeling of femtosecond pulse interaction with inhomogeneously broadened media using an iterative predictor corrector FDTD method / F. Schlottau, M. Piket-May, K. Wagner // Optics Express. – 2005. – V. 13, N. 1. – P. 182–194.
[17] Тиранов, А.Д. Симуляция когерентных откликов резонансной среды под действием последовательности ультракоротких лазерных импульсов / А.Д. Тиранов, К.Р. Каримуллин, В.В. Самарцев // Известия РАН. Серия физическая. - 2012. - Т.76, № 3. - С. 343-346
[18] Merkel, K.D. Coherent transient optical signal processing without brief pulses / K. D. Merkel, W. R. Babbitt // Appl. Opt. – 1996. – V. 35, N. 2. – P. 278—285.

[19] Safiullin, G.M. Femtosecond echo-processing in a dye-doped polymer film at room temperature / G.M. Safiullin, V.G. Nikiforov, V.S. Lobkov [et. al.] // Laser Phys. Lett. – 2009. – V. 6, N. 10. – P. 746–752.
[20] Ham, B.S. Ultralong quantum optical data storage using an optical locking technique / B.S. Ham // Nature Photonics. – 2009. – V. 3, N. 9. – P. 518–522.
[21] Ham, B.S. Frequency-selective time-domain optical data storage by electromagnetically induced transparency in a rare-earth doped solid / B.S. Ham, M.S. Shahriar, M.K. Kim, P.R. Hemmer // Opt. Lett. – 1997. – V. 22, N. 24. – P. 1849–1851.

ФОКУСИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЗА РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННЫХ ВОЛН ПОВЕРХНОСТНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ, СФОРМИРОВАННЫМИ МЕТОДОМ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ДВУХФОТОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Р. Киян[1], А. Л. Степанов[2,3]

[1]Лазерный центр Ганновера, Германия
[2]Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН
[3]Казанский (Поволжский) федеральный университет

Представлены результаты экспериментальной реализации поверхностного двумерного нанооптического элемента – плазмонного фокусирующего устройства, состоящего из цепочки наночастиц, расположенных на концентрической полуокружности на тонкой пленке золота, сформированных с целью концентрации плазмон-поляритонных волн в локальной точке на металлической поверхности. Плазмонные поверхностные наноструктуры были изготовлены методом двухфотонной полимеризации при использовании импульсов фемтосекундного лазера. Геометрические параметры наноструктур контролировались при изготовлении с помощью сканирующей электронной микроскопии. Плазмонное ближнее поле распределения интенсивности по поверхности металлической пленки было зарегистрировано при измерении плазмонных радиационных потерь в дальнем оптическом поле.

1. Введение. В последние годы наблюдается существенное увеличение числа публикакций в области нанооптики и наноплазмоники, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям плазмон-поляритонных волн (ППВ), наблюдаемых на поверхности тонких металлических пленок [1-3]. ППВ являются поверхностными электромагнитными волнами, обусловленными колебаниями электронов проводимости относительно кристаллической решетки, т.е. волнами, распространяющимися по металлическим поверхностям или границам раздела сред с металлом [4]. Уникальность ППВ обусловлена высокой пространственной локализацией вдоль тонкой границы раздела сред и, как следствие, возможностью гигантского усиления напряженности электромагнитного поля на данной границе.

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей распространения ППВ по поверхности тонкой пленки золота, содержащей топографические наноструктуры в виде расположенных на полуконцентрической окружности полимерных наночастиц, сформированных с целью концентрации плазмон-поляритонных волн в локальной точке поверхности. Интерес к подобным объектам обусловлен тем, что их применение позволяет конструировать миниатюрные оптические плазмонные устройства, в которых удается преодолеть фундаментальное дифракционное ограничение по релеевскому рассеянию света при его взаимодействии с малыми объектами [1]. Рассматриваемая задача находится в рамках темы группы Нанооптики и наноплазмоники КФТИ КазНЦ РАН [2, 5, 6]. Постоянная распространения ППВ k_s отличается от волнового числа света $k_0 = \omega/c_0$ (ω – частота, C_0 – скорость света в вакууме) и с учетом диэлектрических проницаемостей двух сред ε_1 и ε_2, на границе которой существует ППВ, зависит от ω через дисперсионное соотношение [7,8]:

$$k_s = k_0\sqrt{\frac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}} \quad . \qquad (1)$$

ППВ могут распространяться только вдоль границ раздела сред с диэлектрическими проницаемостями разных знаков. Если в одной среде $\varepsilon_1>0$, то должны выполняться условия $\varepsilon_2<0$ и $|\varepsilon_2|>\varepsilon_1$. В оптике чаще всего имеют дело с ППВ на границе среды с воздухом ($\varepsilon_1=1$), и условия существования ППВ выполняются для сред с высокой концентрацией свободных носителей, у которых область аномальной дисперсии охватывает ИК- и видимый диапазон частот, что характерно для благородных металлов.

В настоящем исследовании для регистрации распределения интенсивности ближнего поля ППВ по поверхности металической пленки используется недавно предложенная методика измерения плазмонных радиационных потерь (РП) в дальнем оптическом поле [9]. При помощи этой методики впервые был проведен количественный анализ взаимодействия ППВ с наноструктурами - с цепочками наночастиц на поверхности пленки серебра [9] и нащелями в тонкой пленке золота [10]. В данной работе приводятся новые экспериментальные результаты по созданию двумерного оптическиого элемента – плазмонного фокусирующего устройства.

2. Методика эксперимента. Плазмонные поверхностные наноструктуры были изготовлены методом двухфотонной полимеризации при использовании импульсов фемтосекундного лазера [11]. Для формирования диэлектрических наноструктур на поверхности стекла использовался раствор органико-неоорганического гибридного полимерного композита ORMOCER. После добавления в данный полимер инициатора Irgacure 369 композит приобретает способность для фотополимеризации (стеклования) под действием фемтосекундного (длительность импульса лазерного излучения 80 фс при частоте 80 МГц) на длине волны 780 нм (Spectra-Physics Tsunami). Средняя мощность излучения составляла 40 мВт. Схематическое изображение расположения образца в области фокусировки лазерного луча показано на рис. 1. Для фокусировки использовался имерсионный оптический объектив (Nikon, 100x, численная апертура 1.3).

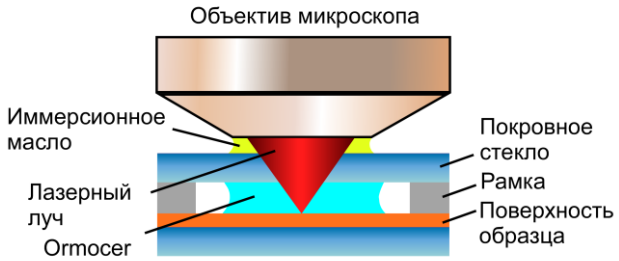


Рис. 1. Схематическое изображение расположения образца в области фокусировки лазерного луча при изготовлении наноструктур методом двухфотонной полимеризации.

Как показано на рис. 1, жидкий полимер ORMOCER помещается между стеклянной подложкой, где формируются поверхностные наноструктуры, и тонким покровным стеклом толщиной 150 мкм, на которое наносится имерсионная жидкость для объектива. Во время процесса полимеризации лазерное излучение фокусируется в локальных местах непосредственно на поверхности стеклянной подложки. Держатель с образцом перемещаются в двух плоскостях при помощи прецизионных трансляторов, управляемых компьютером. После формирования поверхностных наноструктур необлученный (неполимеризованный) жидкий полимер удаляется растворителем. В качестве среды для распространения ППВ были использованы тонкие пленки золота толщиной ~70 нм, нанесенные на поверхностные наноструктуры, сформированные двухфотонной полимеризацией (рис. 2). Исследуемые наноструктуры анализировались с помощью сканирующей электронной микроскопии на микроскопе фирмы Zeiss EVO 50 XVP (рис. 3).

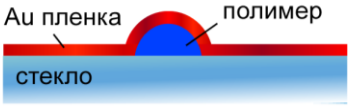


Рис. 2. Схематическое изображение поперечного сечения образца.

Оптическая методика, используемая в работе и позволяющая регистрировать изображение поверхностного распределения ближнего поля ППВ посредством измерения в дальнем электромагнитном поле интенсивности радиационных потерь, подробно описана в работах [9, 10]. ППВ возбуждались на фрагменте цепочки наночастиц, расположенных на полуконцентрической полуокружности, излучением Ti:Sapphire лазера на длине волны 800 нм. Сфокусированный луч лазера падал нормально на поверхностную наноструктуру образца. Изображения распределения интенсивности РП по площади образца (рис. 4) были получены с помощью цифровой ПЗС-камеры (прибор с зарядовой связью). Регистрируемые камерой изображения являются проекциями ППВ на анализируемой поверхности, и в каждой своей точке пропорциональны интенсивности ППВ [3, 9].

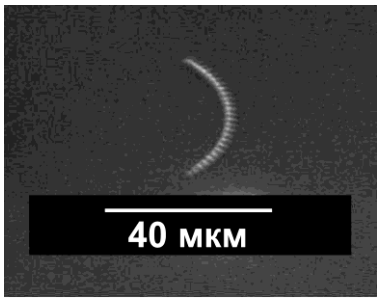


Рис. 3. Изображение топологической поверхности структуры образца, содержащего цепочку наночастиц, расположенных на концентрической полуокружности, наблюдаемую на сканирующем электронном микроскопе по углом 45°.

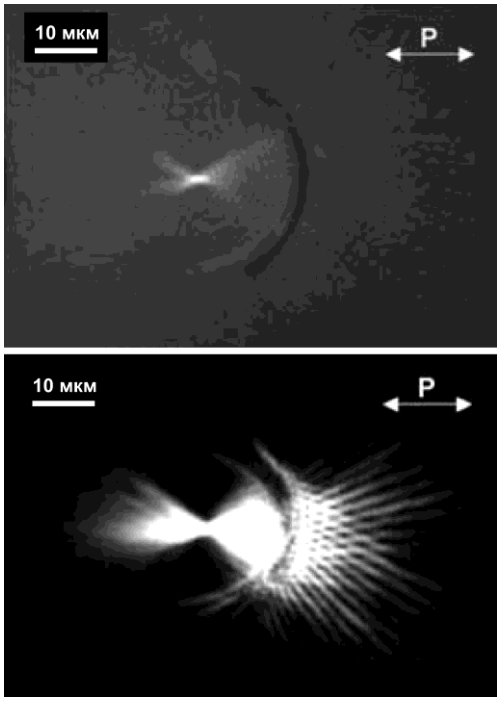


Рис. 4. Оптические изображения в дальнем поле распределения интенсивностей ППВ по площади образца, содержащего цепочку наночастиц, расположенных на концентрической полуокружности. Для детального рассмотрения распределения интенсивности ППР, уровень серого фона на нижнем рисунке понижен.

Моделирование распределения интенсивности ППВ на поверхности золотой пленки проводилось по методике, детали которой приведены в работе [12]. Расчет проводился в представлении цепочки золотых сфероидальных наночастиц, расположенных в воздухе вблизи поверхности золотой пленки (рис. 5). Распределение электромагнитного поля в такой системе может быть описано используя функции Грина. По модели приближения точечных диполей, каждая наночастица трактуется как дипольный излучатель, дипольные моменты которых могут быть найдены решением системы уравнений [12]:

$$\boldsymbol{p}_i = \hat{\alpha}\boldsymbol{E}^0(\boldsymbol{r}_i) + \frac{k_0^2}{\varepsilon_0}\hat{\alpha}\left[\hat{G}^s(\boldsymbol{r}_i,\boldsymbol{r}_i)\boldsymbol{p}_i + \sum_{j\neq i}^{N}\hat{G}^s(\boldsymbol{r}_i,\boldsymbol{r}_j)\boldsymbol{p}_j\right], \quad i = 1,\ldots,N \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{E}^0(\boldsymbol{r})$ является внешним падающим полем в точке $\boldsymbol{r}$, N – полное число частиц в цепочке, G – функции Грина, $\boldsymbol{r}_i=(x_i,y_i,z_i)$ – вектор с координатами с центром частицы номера i, $\hat{\alpha}$ – тензор поляризуемости наночастицы. Электромагнитное поле, создаваемое этими диполями выражается уравнением [12]:

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \frac{k_0^2}{\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{N}\hat{G}_{\mathrm{SPP}}(\boldsymbol{r},\boldsymbol{r}_i)\boldsymbol{p}_i, \qquad (2)$$

где тензор описывает распространение ППВ в рассматриваемой системе. В настоящей работе были проведены моделирования при варьировании расстояния между наночастицами.

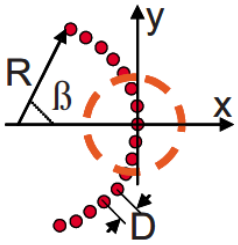


Рис. 5. Схематическое изображение (вид сверху) цепочки наночастиц, расположенных на концентрической полуокружности, где D – расстояние между частицами, R – радиус окружности и β – угол сегмента. Пунктирной линией обозначена область, облучаемая лазерным лучом, возбуждающим ППВ.

Результаты и обсуждение. На рис. 3 приведена электронная фотография сформированной поверхностной структуры, полученная на сканирующем микроскопе при наблюдении под углом 45°. На рисунке видна расположенная на круговом сегменте окружности цепочка наночастиц, синтезированных методом двухфотонной полимеризации и покрытых золотой пленкой.

На практике для возбуждения ППВ оптического диапазона применяют призмы нарушенного полного отражения, дифракционные решетки или краевые диафрагмы [1, 4, 8]. В настоящей работе для этой цели используются дифракционные эффекты. Одиночные наночастицы при их лазерном облучении рассеивают свет в пространстве под разными углами. Когда при некоторых углах падения рассеянного света дифрагированная волна оказывается направленной вдоль поверхности металлической пленки, она представляет собой ППВ [8]. При этом происходит выполнение закона сохранения импульса (условие фазового синхронизма) при преобразовании света в поверхностные поляритоны без изменения частоты. Интенсивности распределения по поверхности таких ППВ, возбужденных на наночастицах и распространяющихся в различном направлении от них, отчетливо видны на рис. 4. На этом же рисунке показано взаимодействие таких ППВ друг с другом. В результате отчетливо наблюдается локализация энергии перекрывающихся ППВ в фокусе концентрической полусферы, а также интерференционная картина разбегающихся от наночастиц ППВ с противоположной стороны от цепочки наночастиц. Такое устройство на практике востребовано с целью эффективной трансформации оптического излучения в ППВ, локализованных на небольшом конкретном пространстве на поверхности металлической пленки.

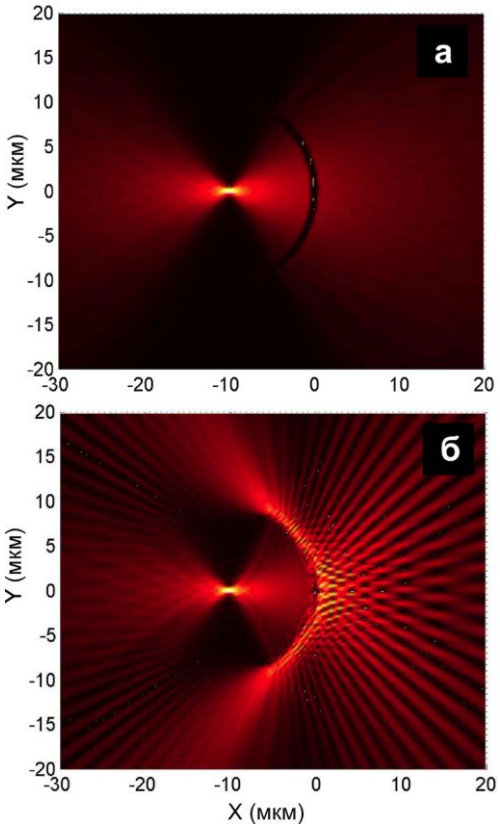


Рис. 6. Моделирование распределения интенсивности ППВ по поверхности золотой пленки, соответствующее образцу на рис. 3. Диаметр области лазерного облучения 10 мкм. Верхний рисунок соответствует D=400 нм, а нижний D=800 нм.

Анализ функционирования данного фокусирующего плазмонного наноустройства, как было сказано, проводился моделированием распределения интенсивности электромагнитного поля по поверхности металлической пленки. Результаты такого моделирования приведены на рис. 6. На рисунке можно видеть, что, в зависимости от расстояния между наночастицами D (рис. 5), можно получить распределения интенсивностей ППВ, качественно согласующиеся с наблюдаемыми на экспериментальных картинах (рис. 4). При визуализации двух примеров показано доминирование либо эффекта фокусирования при D = 400 нм (верхний рис. 5) или появление интерференционной сетки при D = 800 нм (верхний рис. 5). Увеличение расстояния в цепочке между наночастицами создает ситуацию, когда каждая из них выступает независимым точечным источником ППВ, тогда как близкое расположение наночастиц ведет к взаимодействию между ними, и интерфереционная сетка размывается.

Заключение. Таким образом, методом двухфотонной полимеризации сформирована поверхностная наноструктура, состоящая из цепочки наночастиц, расположенных на концентрической полуокружности на поверхности тонкой пленки золота. Показана способность полученной наноструктуры к эффективному фокусированию (локализации) плазмонных волн на поверхности после их возбуждения светом. Данная экспериментальная методика создания поверхностных наноструктур представляется перспективной для ее практического использования при конструировании и изготовлении элементов двумерной нанооптики.

А.Л.С. выражает благодарность Немецким научным фондам им. Александра фон Гумбольдта и DAAD, а также Австрийскому научному фонду в рамках программы им. Лизы Майтнер за финансовую поддержку. Также авторы выражают признательность Д.Р. Кренну (J.R. Krenn), Ф.Р. Ауснеггу (F.R. Aussnegg), Х. Дитлбахеру (H. Ditlbacher), А. Хохенау (A. Hohenau), А. Дрезету (A. Drezet), А. Лейтнеру (A. Leitner) (Университет Граца и Институт наномасштабных исследований им. Э. Шреденгера, Австрия) и сотрудникам Лазерного центра Ганновера (Германия) Б.Н. Чичкову, А.Б. Евлюхину и К. Райнхардту (C. Reinhardt) за помощь в проведении экспериментов и обсуждении результатов.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы ОФН РАН «Физика новых материалов и структур», при финансировании Министерством образования и науки РФ (Программа «Научные и научно-педагогические кадры для инновационной России», госконтракт № 02.740.11.0797), РФФИ (№ 11-02-90420, № 11-02-91341, № 12-02-00528 и № 12-02-97029) и ГФФИ Украины (№ Ф40.2/019).

Список литературы

1. Novotny L., Hecht B.: Principles of nano-optics. Cambrige: Cambridge Univ. Press 2006. 539 p. Новотный Л., Хехт Б.: Основы нанооптики. М.: Физматлит 2009. 415 с.
2. Климов В.В.: Наноплазмоника. М.: Физматлит 2009. 480 с.
3. Stepanov A.L., Drezet A., Krenn J.R.: Surface plasmon polariton nanooptics. New York: Nova Sci. Publ. 2012. 99 c.
4. Агранович В.М., Миллс Д.Л. (ред.): Поверхностные поляритоны. М.: Наука 1985. 325 с.
5. Stepanov A.L., Kiyan, Reinhardt C., Chichkov B.N.: Laser prototyping of polymer-based nanoplasmonic components. «Laser beams: theory, properties and applications» (Thys M., Desmet E., eds.). New York: Nova Sci. Publ. 2010. 324-338 pp.
6. Stepanov A.L., Krenn J.R.: Two-dimensional plasmon polariton nanooptics by imaging in far-field. «Plasmons: theory and applications» (Helsey K.N., ed.). New York: Nova Sci. Publ. 2011. 180-199 pp.
7. Barnes W.L., Dereux A., Ebbesen T.W.: Nature **424**, 824-830 (2003)
8. Raether H.: Surface plasmons. Berlin: Springer 1988. 154 p.
9. Stepanov A.L., Krenn J.R., Ditlbacher H., Hohenau A., Drezet A., Steinberger B., Leitner A., Aussenegg F.R.: Opt. Lett. **30**, 1524-1526 (2005)
10. Gonzalez M.U., Weeber J.-C., Baudrion A.-L., Dereux A., Stepanov A.L., Krenn J.R., Devaux E., Ebbesen T.W.: Phys. Rev. B **73**, 155416 -1 - 155416-13 (2006)
11. Reinhardt C., Passinger S., Chichkov B.N., Marquart C., Radko I.P., Bozhevolnyi S.I.: Opt. Lett. **31**, 1307-1309 (2006)
12. Evlyukhin A.B., Stepanov A.L., Kiyan R., Chichkov B.N.: J. Opt. Soc. Am. B **25**, 1011-1015 (2008)

ДВУХФОТОННОЕ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОЕ СМЕШЕНИЕ И ДЛИННОВОЛНОВЫЙ СДВИГ СПЕКТРА ФЕМТОСЕКУНДНОГО ФОТОННОГО ЭХА В КРИСТАЛЛЕ CdS ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

А. В. Леонтьев[1], В. С. Лобков[1], Т. Г. Митрофанова[1], В. В. Самарцев[1,2], С. В. Чекалин[3]

[1] *Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН, Казань 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7*

[2] *Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань 420008, ул. Кремелевская, 16*

[3] *Институт Спектроскопии РАН, Москва 142190, ул. Физическая, 16*

e-mail: samartsev@kfti.knc.ru; chekalin@isan.troitsk.ru

1. Введение. Двухквантовый режим четырехволнового смешения. Режим и техника четырехволнового смешения (ЧВС) хорошо известны специалистам-фемтосекундникам [1]. Отработана и методика получения спектроскопической и временной информации, развитая в работах Вейнера и Иппена [2], а также Кобаяши с коллегами [3]. На рис.1. приведена упрощенная схема двухпучкового резонансного возбуждения образца и одновременного детектирования двумя фотодетекторами дифрагированных сигналов, состоящих из самодифракции и когерентных откликов. Эти сигналы ($\vec{k}_3$ и $\vec{k}_4$) распространяются в направлениях $2k_2 - k_1$ и $2\vec{k}_1 - \vec{k}_2$, и снимаются зависимости их интенсивности от времени задержки τ_{12} импульсов друг относительно друга.

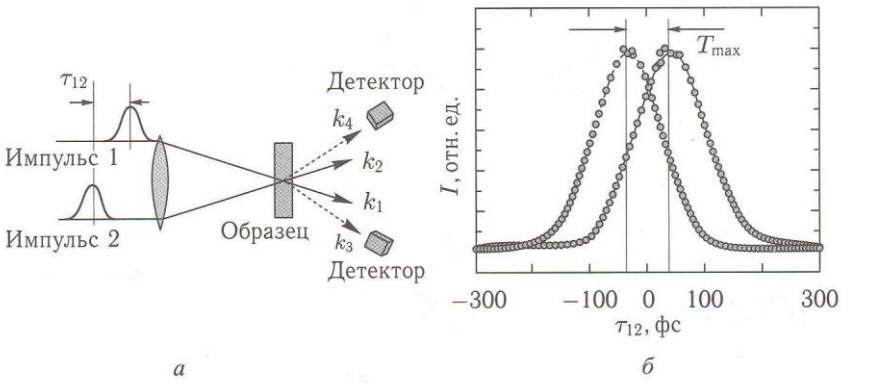


Рис. 1. Двухпучковая упрощенная схема реализации режима четырехволнового смешения (а) и снимаемая зависимость интенсивности I дифрагированных сигналов (k_3 и k_4) от задержки τ_{12} возбуждающих сигналов (k_1 и k_2) друг относительно друга (б).

Согласно [2], зависимость $I(\tau_{12})$ описывается выражением [3]:

$$I(\tau_{12}) \propto \int_0^\infty dt \int_0^\infty dt' \, f(t'-t) f(t-\tau_{12}) \cdot \exp[-2(t+t')/T_d], \qquad (1)$$

где $f(t)$ – автокорреляционная функция огибающей возбуждающих импульсов; T_d – время оптической дефазировки. Для грубых оценок времени T_d оказывается полезным выражение [1]: $T_d \approx 1{,}8 \cdot T_{\max}$, где $T_{\max}$ – временной интервал между максимумами.

Так, для кристаллической пленки CdS толщиной 1 мм при комнатной температуре время оптической дефазировки оказалось равным 176 фс [4]. В эксперименте [4] спектр когерентных откликов и, в частности, – спектр фемтосекундного фотонного эха (ФФЭ) не исследовался. В данной работе все эти исследования были проведены на новой фемтосекундной технике. В отличие от упрощенной схемы ЧВС на рис.1, соответствующей одноквантовому режиму

возбуждения, на образце CdS должно быть проведено двухквантовое возбуждение [5, 6] фотонами титан-сапфирового лазера на длине волны 800 нм. Исследования, аналогичные нашим, проводились в 2002 году израильскими физиками [7]. Здесь мы проведем сравнение наших результатов с результатами работы [7].

2. Аппаратура и результаты исследований. Все измерения, проведенные в этой работе, осуществлены А.В. Леонтьевым (КФТИ КазНЦ РАН) на фемтосекундном лазерном комплексе ЦКП «Оптико-спектральные исследования», созданном в ИС РАН (г. Троицк) под руководством проф. С.В. Чекалина. Блок-схема узлов комплекса представлена на рис. 2.

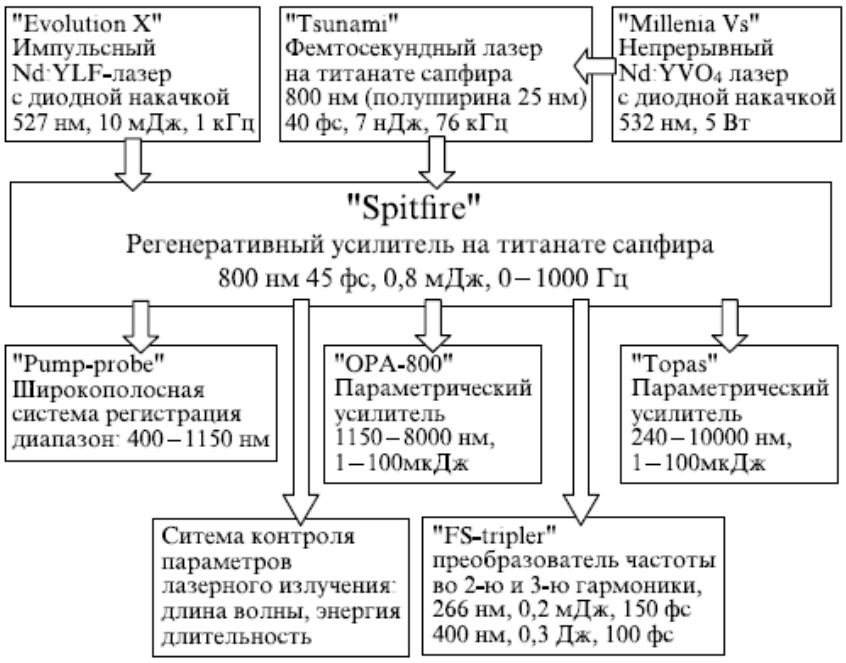


Рис. 2. Блок-схема основных лазерных компонент комплекса ЦКП «Оптико-спектральные исследования» (ИС РАН, г. Троицк) [8].

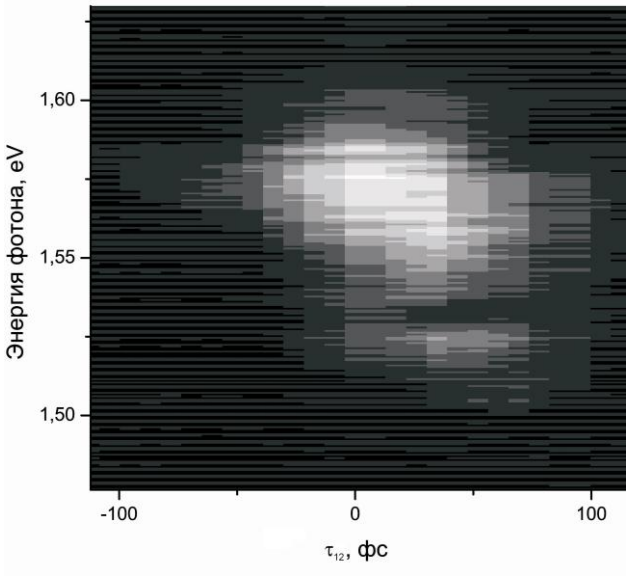
Лазерная часть комплекса состоит из генератора фемтосекундных импульсов Tsunami HP и регенеративного усилителя Spitfire HP фирмы Spectra Physics. Накачка генератора осуществлялась на длине волны 532 нм непрерывным твердотельным Nd:YV04-лазером мощностью 4,5 Вт. Усилитель накачивался импульсным твердотельным Nd:YLF-лазером «Evolution». Энергия фемтосекундных импульсов на выходе усилителя могла достигать 1 миллиджоуль на длине волны 800 нм при длительности импульса 45 фс и частоте повторения 1кГц. Спектральная ширина импульсов составляла 20 нм. Остальную информацию можно найти в обзоре [8] (а также в книге [1], стр. 136).

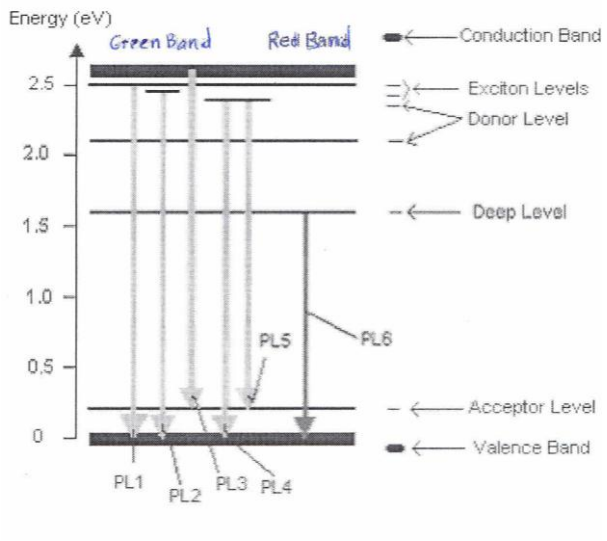
Основные результаты нашего эксперимента приведены на рис.3, где сверху («а») дана энерегетическая контурная диаграмма фотонов дифрагированного сигнала (the time-delay photon energy contour plot four-wave mixing signals). Снизу («б») приведен спектр ФФЭ-сигнала (1) рядом со спектром возбуждающих лазерных импульсов (2).

3. Обсуждение результатов эксперимента. На рис. 3. показано, что длина волны дифрагированного в направлении $2\vec{k}_2 - \vec{k}_1$ сигнала ФФЭ больше длины волны возбуждающих импульсных сигналов примерно на 21 нм. Это означает, что несущая частота (т.е. энергия) дифрагированного эхо-сигнала меньше частоты возбуждающих сигналов, что, в принципе, понятно, поскольку образец находился при комнатной температуре, и часть энергии фотонов «перекачалась» в энергию фононов. Представляется целесообразным привести здесь на

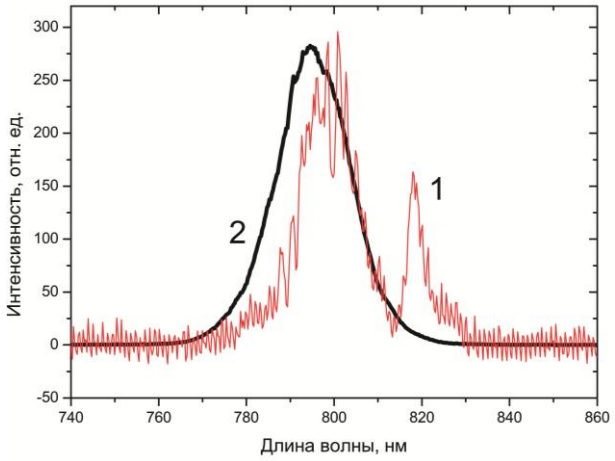
рис. 4 богатую схему различных энергетических уровней, расположенных в запрещенной зоне кристалла CdS, а также различных оптических люминесцентных переходов с этих уровней на низлежащие и в валентную зону.

а *а*





б *б*



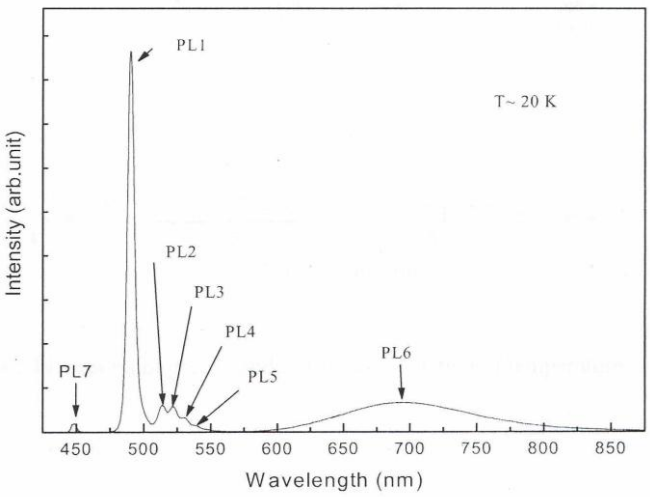


Рис. 3. Энергетическая контурная диаграмма фотонов дифрагированного сигнала а) и спектры эхо-сигнала (1) и возбуждающих импульсов (2), снятые в кристалле при 20 К (б).

Рис. 4. Оптические уровни и внутризонные оптические переходы (а) и спектр фотолюминесценции кристалла CdS при комнатной температуре (б).

Наступил момент опять вспомнить работу Ф. Хилманна с коллегами [6] (стр. 4182), отмечавших, что в кристалле CdS при комнатной температуре в процессе двухфотонного возбуждения возникает высокоплотный газ электронных носителей, в котором важную роль играют экситоны и экситонные молекулы (биэкситоны). Поскольку в этой модели экситоны возбуждаются в двухквантовом режиме фотонами из разных лазерных пучков, то, по аналогии с работой [9], роль ЭПР-пары (Эйнштейн-Подольский-Розен-пары) смогут выполнять биэкситоны.

Теперь остановимся на работе [7], выполненной в широком диапазоне температур (от 4 до 300 К) на полупроводниковых образцах InP и GaAs на длинах волн, лежащих в интервале 1200÷1900 нм, с использованием фемтосекундных импульсов с длительностью

50÷80 фс и энергией 8 микроджоуль в импульсе. Величины кванта фотона этого излучения хватало лишь для достижения середины запрещенной зоны вышеуказанных образцов. Авторы работы [7] считают, что под действием возбуждающего излучения посередине запрещенной зоны создаются локализованные полузонные состояния (типа LE2-уровня в GaAs), а вблизи этих состояний возникают подуровни оптических фононов. Эти подуровни являются ответственными за то, что энергия дифрагированных откликов при низких температурах больше энергии возбуждающих импульсов на энергии оптического фонона. По нашему мнению, авторы работы [7] справедливо считают, что предложенная ими модель требует доработки.

Благодарности. **Данная работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОФН РАН «Фундаментальная оптическая спектроскопия и ее приложения» и Программы Президиума РАН «Квантовые мезоскопические и неупорядоченные системы»а также грантов РФФИ: № 11-02-00040_а, № 12-02-90000-Бел_а и гранта «Мобильность молодых ученых-2011».**

Список литературы

[1] С.А. Козлов, В.В. Самарцев, *Основы фемтосекундной оптики*, Физматлит, Москва (2009).
[2] A.M. Weiner, E.P. Ippen, *Opt. Lett.* **9** (1983) 53.
[3] T. Kobayashi, A. Terasaki, T. Hattori, K. Kurokawa, *Appl. Phys. B* **47** (1988) 107.
[4] K.V. Ivanin, A.V. Leontyev, V.S. Lobkov et.al., *Laser Phys. Lett.* **6** (2009) 644.
[5] J.-F. Lami, P. Gillot, C. Hirlmann, *Phys. Rev. Lett.* **77** (1996) 1632.
[6] F. Hillmann, J. Voigh, H. Redlin, *Appl. Phys. Lett.* **77** (2000) 4181.
[7] I. Gur-Arie, S. Bar-Ad, *Phys. Rev. B.* **65** (2002) 125311.
[8] С.В. Чекалин, *УФН* **176** (2006) 7.
[9] A.V. Leontiev, V.S. Lobkov, T.G. Mitrofanova, A.G. Shmelyov, V.V. Samartsev, *Laser Phys. Lett.* **9** (2012).

ГЕНЕРАЦИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА И СВЕРТКА ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ОБЛАСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОНОКРИСТАЛЛАХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЭХА

Т. Г. Митрофанова[1], В. С. Романов[1], В. В. Самарцев[1,2]

[1]Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН Россия, 420029 Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7,
[2]Казанский (Приволжский) Федеральный университет Казань 420008, ул. Кремелевская, 16
E-mail: samartsev@kfti.knc.ru

В данной работе рассматриваются экспериментальные результаты по поляризационному эхо (ПЭ) в температурной области структурных фазовых переходов (ФП) в сегнетоэлектрических монокристаллах типа «порядок-беспорядок».

Существуют разные модели формирования ПЭ в области ФП:

1) модель Копвиллема – Пранца [1], состоящая в том, что в монокристалле существуют доменные стенки, а также примеси и дефекты, где возможно формирование фазовой памяти;

2) модель Белоненко – Шакирзянова, основанная на существовании набора слабо взаимодействующих осцилляторов в динамике псевдоспиновых волн;

3) модель Балакина, основанная на геометрической нелинейности среды для поляризационно – звуковых волн в постоянном электрическом поле. Авторы этой работы придерживаются модели Балакина.

Характерные особенности формирования ПЭ в области температуры ФП:

1) эхо-сигналы наблюдаются в ограниченном интервале температур (как, например, в сегнетовой соли: $-27^{\circ} \div +32^{\circ}$ С);

2) эхо-сигналы наблюдаются на суммарной или разностной частотах ($\omega_э=\omega_1\pm\omega_2$, где ω_1 и ω_2 частота первого и второго РЧ импульсов).

3) при многократном прохождении через температуры ФП (Тс) температурный интервал наблюдения сигнала-эха увеличивается;

4) в малом интервале температур – порядка до 1 ^{o}С вблизи температуры ФП (Тс) при подаче одного РЧ импульса на частоте ω_1, возникает мощная генерация звука на частоте $\omega/2$ (рис. 1).

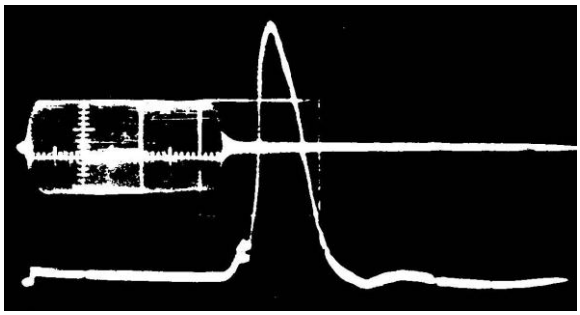


Рис. 1. Осциллограмма сигнала генерации на частоте $\omega/2\pi$=12 МГц при возбуждении РЧ-импульсом с частотой 24 МГц. Образец – монокристалл Rs, T=26,7 °C, Δt =6,8 мкс.

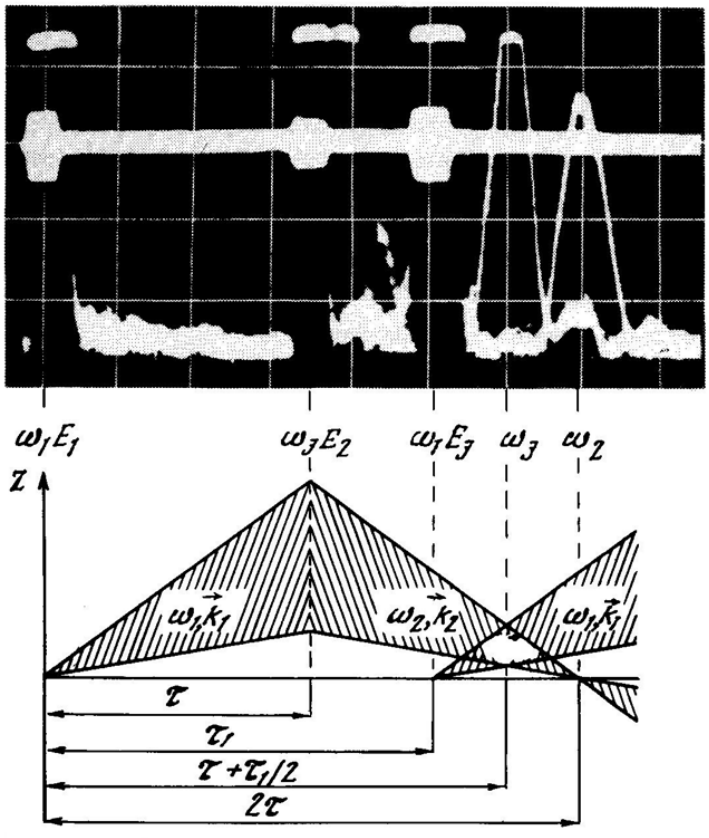


Рис. 2. Обращение волнового фронта и взаимодействия встречных волн (свертка) в области ФП

Генерация сигнала $I_{\omega/2}$ имеет пороговый характер, а при дальнейшем повышении амплитуды и длительности (Δt) РЧ импульса сигнал $I_{\omega/2}$ увеличивается. Процесс преобразования и обращения звуковых волновых фронтов наглядно представлен в виде диаграммы на рис. 2, предложенной В. И. Башковым. На этой диаграмме по вертикали отложено отклонение фазы z спектральной компоненты рассматриваемой звуковой моды, от среднестатического значения фазы моды в зависимости от времени. Двумя расходящимися (сходящимися) лучами представлен процесс расфазирования (сфазирования) двух спектральных компонент с симметричным отклонением от среднего значения частоты $\pm\omega$. Процесс состоит в следующем:

1) 1-й РЧ импульс на частоте ω_1 возбуждает звуковую волну (ω_1, $\vec{k}_1$), происходит расфазирование в интервале времени $0 \div \tau$;

2) 2 -й РЧ импульс на частоте 2 $\omega_1 = \omega_3$ преобразовывает волну (ω_1, $\vec{k}_1$), обращённую волну (ω_2, $\vec{k}_2$) и происходит сфазирование в интервале времени $\tau \div 2\tau$;

3) 3-й РЧ импульс на частоте ω_1 возбуждает звуковую волну (ω_1, $\vec{k}_1$) , которая взаимодействует звуковой волной (ω_2 , $\vec{k}_2$) и среда генерирует сигнал свёртки на частоте ω_3 в момент времени $\tau + \tau_1/2$; имеет волновой вектор $\vec{k}_3$ и сжат во времени в два раза по сравнению с эхосигналом в момент времени 2τ, что является характерным свойством сигнала свёртки акустических входных сигналов.

4) эхо-сигнал в момент 2τ – это обычный эхо-сигнал на частоте $\omega_1 \pm \omega_3 = \omega_2$.

Известны способы получения сигнала свёртки, основанные на нелинейных взаимодействиях, в пьезоэлектрических монокристаллах. В этом случае необходимо приклеивать дополнительно к противоположным торцам кристалла пьезопреобразователи, а также обеспечить высокую точность обработки монокристалла (параллельность торцов).

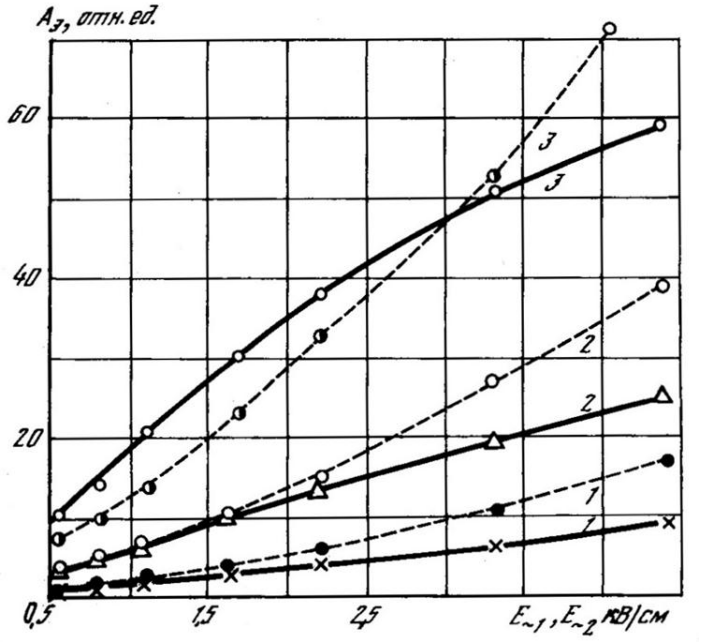


Рис. 3. Зависимость амплитуды эха $A_э$ от амплитуд импульсов. Кривые *1, 2, 3* соответствуют 0,5; 1,7; 3,3 кВ/см. Сплошные линии: E_1 – var; пунктирные: E_2 – var. Образец – монокристалл KDP. E_0=2 кВ/см, Δt_1=4 мкс, Δt_2=3 мкс, T=150,1°C.

В нашем случае сигнал свёртки реализуется в области ФП даже в условиях сильной дисперсии рассеяния звуковых волн, несовершенства кристалла, т.к. происходит обращение фронта волны в одно и то же время по всему объёму кристалла. Условием эффективного взаимодействия встречных звуковых волн является наличие нелинейной электроупругой связи, которая наиболее велика в области ФП [4].

На рис. 3 приведена зависимость амплитуды эха от амплитуд РЧ-импульсов. С увеличением амплитуд РЧ-поля сигнал эха не насыщается, а постоянно растёт. Видно, что наиболее существенный вклад в амплитуду эха вносит второй РЧ импульс. Максимальная амплитуда эха ограничивается лишь электрической прочностью монокристалла.

В крупных монокристаллах в области ФП возникает затруднение в получении достоверных данных по затуханию звука из-за его сильного рассеяния на неоднородностях, обусловленных одновременным существованием нескольких фаз [5].

В наших исследованиях методом ПЭ вышеуказанные недостатки устраняются путём обращения фронта волны. Отметим, что в монокристаллах даже с трещинами эхо-сигнал всё же формируется. На рис. 4 приведены результаты исследований коэффициента поглощения звука на монокристалле сегнетовой соли. В левом верхнем углу помещена осциллограмма спада серии эхо-сигналов при изменении интервала τ между двумя РЧ импульсами в автоматическом режиме. Поглощение звука оценивалось величиной $\Gamma=1/T_2$, где T_2 – постоянная времени спада амплитуды эхо-сигнала, которая определяется наложением калиброванной экспоненты от генератора. Следует подчеркнуть, что локальный минимум на кривой поглощения звука при температуре $T \approx T_c$ может существовать для всех волн (включая квазипоперечные и квзипродольные). Однако, как нам известно, экспериментально удалось измерить T_2 только нашим методом – методом ПЭ, устранившим аномальное фазовое рассеяние звука T_2 на доменных стенках и различных неоднородностях. Экспериментально установлено, что вблизи T_c уменьшается поглощение звука (аналогичный отрицательному сопротивлению). Эти результаты также коррелируют с полученными данными: с увеличением амплитуды и длительности возбуждающих РЧ импульсов поглощение энергии звука уменьшаются.

Физический механизм уменьшения поглощения звука, по-видимому, связан с передачей (перекачкой) энергии от более высоких гармоник к основной, т.е. к слабозатухающей моде. Проведённые эксперименты дали качественно новый результат относительно вида кривой поглощения звука в окрестности ФП в сегнетоэлектрических монокристаллах: на фоне поглощения звука, обусловленного релаксацией поляризации в электрическом поле. Обнаружен минимум, глубина которого увеличивается с ростом амплитуды звуковой волны. Обнаружение этого эффекта стало возможным благодаря устранению фазового рассеяния звуковых волн, приводящего к восстановлению фазовой когерентности методом ПЭ.

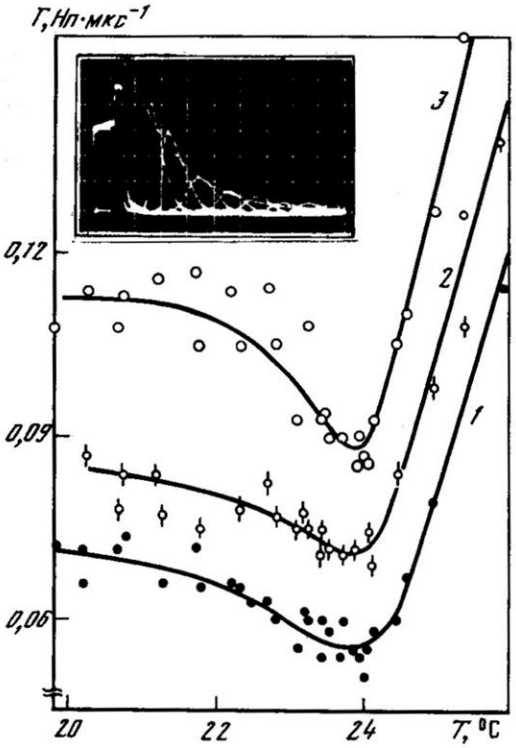


Рис. 4. Температурная зависимость коэффициента поглощения звука в монокристалле Rs в области ФП при электрических полях (кВ/см) : E=0,3; E_2=0,4; E_1: *1* – 0,3; *2* – 0,1; *3* – 0,03.

Ширина двухимпульсного эхо-сигнала на рис. 5 полностью определяется длительностями первого Δt_1 и второго Δt_2 РЧ импульсов. С увеличением длительностей РЧ импульсов ширина сигнала увеличивается. Ширина эхо-сигнала по основанию определяется $2\Delta t_1+\Delta t_2$, при малых амплитудах возбуждающих РЧ импульсов. Так, например, согласно рис. 5 ширина эхо-сигнала для сплошной кривой 5 (колокол) $\Delta t_э \approx 40$ мкс.

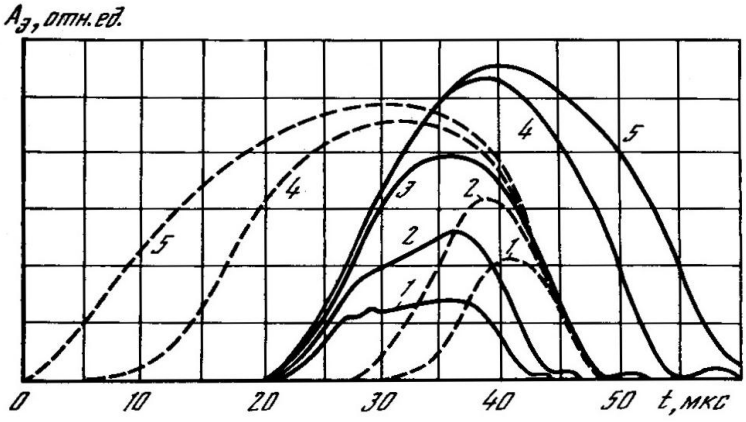


Рис. 5. Форма и амплитуда двухимпульсного эха. Сплошные линии: Δt_1=9 мкс, Δt_2 – var; пунктирные линии: Δt_1 – var, Δt_2 =9 мкс. Кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют Δt_{var}= 3, 5, 9, 15, 21 мкс. Образец монокристалл KDP. T=149,6 °C, постоянное электрическое поле E_0=2,5 кВ/см, E_1=3,0 кВ/см.

Заключение. Таким образом, в данной работе мы исследовали нелинейные свойства в сегнетоэлектрических монокристаллах в области температур структурных фазовых переходов. Регистрируя акустическое эхо на объёмных волнах, наш метод позволяет получить объёмное изображение, что позволяет построить акустический томограф, аналогичного ЯМР томографу.

Работа поддержана Программой Президиума РАН «Квантовые мезоскопические и неупорядоченные системы», Программой ОФН РАН «Фундаментальная оптическая спектроскопия и её применение», а также грантами РФФИ N10-02-00004а, N 11-02-00040а и N 12—02-90000 Бел.а.

Список литературы

[1] Копвиллем У.Х., Пранц С.В. Поляризационное эхо. Москва: Наука,1985,192 с.

[2] Березов В.М., Романов В.С., Балакин А.Б. Применение метода обращения волнового фронта для акустических исследований структурных фазовых переходов в сегнетоэлектриках // Кристаллография,1986,т.31,в.5,с 1022-1025.
[3] Березов В.М., Романов В.С. Современное состояние исследований конденсированных сред методом поляризационного зха // Изв. АН СССР, сер. физ.,1986, т.50., N8, с.1537-1543.
[4] Price W.J. Ultrasonic measruments on Rochelle Salt crustal // Phys.Rev., 1949, v.75, N 6,p.946-952.
[5] Яковлев И.А., Величкина Т.С. Два новых явления при фазовых превращениях второго рода // УФН, 1957,т.63, №2,с.411-433.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕРАВНОВЕСНЫХ «РЕШЕТОК» НАСЕЛЕННОСТЕЙ, ЗАПИСАННЫХ СКРЕЩЕННЫМИ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В ПРИМЕСНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ, И РОЛЬ ФОНОНОВ В РАСПАДЕ «РЕШЕТОК»

В. В. Самарцев[1,2], В. А. Зуйков[1], Т. Г. Митрофанова[1]

[1] *Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН, Казань 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7*
[2] *Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань 420008, ул. Кремелевская, 16*
e-mail: samartsev@kfti.knc.ru

1. Введение: самодифракция и ее свойства при высоких температурах. Согласно [1], два одновременно действующих на резонансную среду в направлениях $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$ возбуждающих лазерных импульса наводят в ней неравновесную «решетку» населенностей с вектором «решетки», равным $\vec{q} = \pm(\vec{k}_1 - \vec{k}_2)$. Каждый из лазерных пучков, участвовавших в записи «решетки», рассеивается на этой «решетке» в соответствии с законами дифракции в направлениях, соответствующих дифракционным максимумам. Это явление известно как самодифракция. Первые эксперименты по самодифракции наносекундных лазерных импульсов в резонансной среде были поставлены авторами работ [2, 3]. При этом резонансное поглощение фотонов средой из каждого лазерного пучка происходило в одноквантовом режиме. Тогда каждая из рабочих частиц резонансной среды способна поглотить фотон лишь из одного возбуждающего лазерного пучка, а весь ансамбль частиц будет представлять их совокупность, возбужденную двумя разными лазерными пучками. В итоге неравновесная «решетка» населенностей оказывается образованной частицами, возбужденными разными лазерными пучками. Любой фотон, высвеченный в резонансной среде, дифрагирует на этой «решетке». В качестве примера обсудим тот случай, когда на резонансную среду начинают действовать в направлениях $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$ одновременно π/2- и π-импульсы, причем π-импульс вдвое длинее π/2-импульса. π/2-импульс и первая половина π-импульса сформируют в среде неравновесную «решетку» населенностей, а вторая половина π-импульса рассеется на ней в соответствии с законами дифракции [4]. Авторы данной работы решили обратиться к результатам эксперимента [5] с целью показать разницу между «решетками», созданными при одноквантовом и двухквантовом режимах возбуждения. В случае двухквантового режима возбуждения, реализованного в эксперименте [6], фотоны каждого из двух пучков одновременно участвуют в процессе двухфотонного поглощения и, потому, волновые векторы фотонов из различных пучков войдут в волновую функцию суперпозиционного состояния каждой частицы. При одноквантовом режиме поглощения в нее войдет лишь волновой вектор одного

из пучков, хотя, в целом, частицы ансамбля, на которых была осуществлена резонансная запись, будут работать как дифракционная решетка. Первый порядок самодифракции в этом случае удовлетворяет следующим условиям пространственного синхронизма [1]:

$$\vec{k}_{+1} = 2\vec{k}_2 - \vec{k}_1$$
$$\vec{k}_{-1} = 2\vec{k}_1 - \vec{k}_2 \qquad (1)$$

Целью данного исследования является исследование особенностей спектра самодифракции в двух материалах: полимерной пленке поливинилбутираля толщиной 35 микрон, легированной молекулами фталоцианина HW 1009 в концентрации 10^{-4} моль/литр, а также в пленке кристаллического кремния толщиной 10 микрон. Оба эксперимента проводились при комнатной температуре образцов. Один из них (на легированной полимерной пленке) проводился в ETH-центре (г. Цюрих, Швейцария) на фемтосекундной установке, детально описанной в работе [7]. Несущая частота импульсов соответствовала длине волны 780 нм, которая соответствовала $S_0 \rightarrow S_1$ линии поглощения молекул фталоцианина. Неоднородная ширина этой спектральной линии была равна 20 нм и оптическая плотность D=1,7 соответствовала максимуму поглощения [8]. Длительность возбуждающих импульсов находилась в пределах 80÷120 фс, а их энергия составляла 0,6÷0,8 миллиджоуль на импульс. Второй эксперимент (на кремнии) проводился в КФТИ КазНЦ РАН на фемтосекундной установке коллективного пользования, описанной в работе [5]. Рабочая длина волны составляла 620 нм при спектральной ширине 15 нм. Длительность возбуждающих импульсов была равна 100 фс, а частота повторения импульсов составляла 10 кГц. Спектр поглощения кристаллического кремения при комнатной температуре можно найти в книге Таука [9], а нормализованный спектр самодифракции в кремнии при различных углах $\varphi = \vec{k}_1 \hat{\vec{k}}_2$ приведен в статье [5].

2. Результаты экспериментов по самодифракции. Экспериментально снятые зависимости длин волн λ сигналов самодифракции от значений угла φ для обоих вышеуказанных материалов при комнатной температуре приведены на рис. 1 и рис. 2.

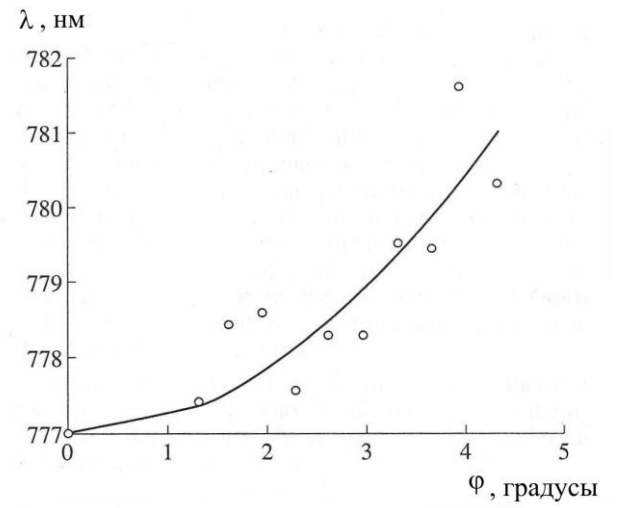


Рис. 1. Экспериментальная зависимость длины волны сигнала самодифракции в примесной полимерной пленке при комнатной температуре от угла φ.

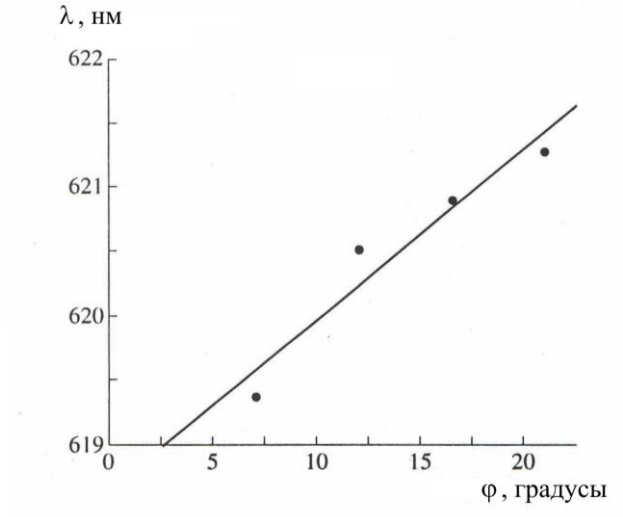


Рис. 2. Экспериментальная зависимость длины волны сигнала самодифракции в кристаллическом кварце при комнатной температуре от угла φ.

Анализ этих зависимостей показывает, что длина волны сигнала самодифракции в обоих материалах испытывает стоксов частотный сдвиг $\Delta\nu$, причем в легированных полимерных пленках эта зависимость носит квадратичный характер: $\Delta\nu \approx 0,215\varphi^2$, а в кристаллическом кремнии – линейный характер (что, возможно, связано с двухквантовым возбуждением). Итак, в отличие от экспериментов по самодифракции, поставленных при температуре

жидкого гелия [7], где наблюдается «синий» (антистоксов) частотный сдвиг, при комнатной температуре наблюдается «красный» (стоксов) сдвиг. В монографии [8] для той же легированной полимерной пленки показано, что с ростом температуры до комнатной укорачивается время оптической дефазировки T_d до 200 фс (при 300 К). Таким образом, изменение характера частотного сдвига самодифракции от антистоксова к стоксову связано с разрушающим влиянием фононов. В этот процесс вмешиваются и другие процессы, связанные с большим неоднородным уширением линий поглощения в этих материалах в условиях широкополосного лазерного возбуждения [10, 11].

Благодарности. **Данная работа поддержана Программой ОФН РАН «Фундаментальная оптическая спектроскопия и ее приложения», а также грантами РФФИ: №10-02-00004_а, № 11-02-00040_а и № 12-02-90000-Бел_а.**

Список литературы

[1] H.I. Eichler, P. Gunter, D.W. Pohl, *Laser-induced dynamic gratings*, Springer-Verlag, Berlin (1986).
[2] H. Gerritsen, *Appl. Phys. Lett.* **6** (1967) 239.
[3] Е.И. Штырков, *Письма в ЖЭТФ* **12** (1970) 134.
[4] K. Duppen, D.A. Wiersma, *JOSA B* **3** (1986) 614.
[5] V.A. Zuikov, I.V. Negrashov, V.V. Samartsev et.al., *Laser Phys.* **10** (2000) 1968.
[6] A.V. Leontiev, V.S. Lobkov, T.G. Mitrofanova, A.G. Shmelyov, V.V. Samartsev, *Laser Phys. Lett.* **9** (2012).
[7] V. Zuikov, W. Ferri, O. Ollikainen, A. Rebane, U. Wild, *Laser Phys.* **6** (1996) 729.
[8] С.А. Козлов, В.В. Самарцев, *Основы фемтосекундной оптики*, Физматлит, Москва (2009).
[9] J. Tauc, *Optical properties of semiconductors in visible and ultraviolet ranges*, Heywood, London (1965).
[10]О.К. Khasanov, O.M. Fedotova, V.V. Samartsev, *Jour. of Luminescence* **127** (2007) 55.
[11]О.Х. Хасанов, О.М. Федотова, В.В. Самарцев и др., *Ученые Записки КГУ. Физ.-мат. науки* **152** (2010), кн.2, 179.

ДВУХКВАНТОВЫЙ КОРРЕЛЯТОР ФОТОНОВ В РЕЖИМЕ «ПЕРЕПУТАННОГО» СВОБОДНО ИНДУЦИРОВАННОГО СПАДА В СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

В. В. Самарцев[1,2], А. В. Леонтьев[1], Т. Г. Митрофанова[1]

[1] *Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН, Казань 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7*
[2] *Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань 420008, ул. Кремелевская, 16*
e-mail: samartsev@kfti.knc.ru

1. Введение. В настоящее время проводятся активные разработки явлений квантовой оптики [1, 2], одно из которых было предсказано в 1967 году профессором Московского госуниверситета – Д. Н. Клышко [3]. В англоязычной литературе оно получило название «spontaneous parametric down-conversion», а в русской научной литературе (например, [4]) это явление было названо «спонтанным параметрическим рассеянием (СПР) света». История открытия СПР полна драматизма. Принято считать, что экспериментально СПР было в том же 1967 г. обнаружено в трех исследовательских группах [5, 6, 7], одна из которых – российская. Соглас-

но Д. Н. Клышко [4], с точки зрения наблюдателя СПР представляет собой оптический параметрический процесс спонтанного распада фотонов падающего на среду монохроматического излучения (накачки) с частотой ω_0 на пары фотонов – сигнальный (ω_1) и холостой (ω_2), причем сумма частот родившихся фотонов равна частоте накачки:

$$\hbar\omega_0 = \hbar\omega_1 + \hbar\omega_2 .$$

При нестационарной и квазимонохроматической накачке это условие выполняется с точностью до спектральной ширины накачки. Максимальная эффективность распада достигается при выполнении закона сохранения импульса, который в данном процессе имеет вид условия пространственного (фазового) синхронизма:

$$\vec{k}_0 = \vec{k}_1 + \vec{k}_2 ,$$

где $\vec{k}_0$, $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$ – волновые векторы накачки, сигнальной и холостой волн. В случае, когда оба родившихся фотона имеют частоты, попадающие в область прозрачности рассеивающей среды, то на выходе из среды генерируется бифотонное поле, представляющее собой поток пар коррелированных фотонов. Пара фотонов (бифотон) является единым квантовым объектом, представляющим собой перепутанное (entangled) состояние, описываемое единой волновой функцией и характеризующееся рядом уникальных статистических свойств [8]. Фотоны в паре связаны между собой местом и моментом рождения, частотами и направлениями вылета. Физически интенсивность потока бифотонов тесно связана с яркостью нулевых флуктуаций электромагнитного вакуума. Если же $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0/2$ и $\vec{k}_1 = \vec{k}_2 = \vec{k}_0/2$, то сигнальный и холостой фотоны становятся неразличимыми. Явление СПР света используется в квантовой оптике для получения коррелированных фотонов повсеместно. Возникает вопрос: не существуют ли другие явления, в которых появляются коррелированные фотоны? В экспериментальном поиске одного из них состоит цель данной работы. Будет показано, что это явление относится к классу оптических переходных процессов [9] и носит название двухквантового свободно-индуцированного спада (two-quantum free induction decay). Во многих работах оно называется свободной световой индукцией (ССИ), представляющей собой когерентный оптический отклик резонансной среды на воздействие единственного возбуждающего импульса, длительность которого Δt короче времен всех необратимых процессов дефазировки T_d. Как известно [9], у этого отклика имеется серьезный недостаток – его волновой вектор направлен вдоль волнового вектора возбуждающего импульса, а это создает серьезные технические трудности при его оптическом детектировании. Возникает вопрос: нельзя ли резонансно и одновременно возбуждать сигнал свободной световой индукции двумя лазерными пучками с волновыми векторами $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$? Ответ на этот вопрос следующий: в одноквантовом режиме нельзя, поскольку энергия кванта одного из пучков останется незадействованной, но это можно делать в двухквантовом режиме возбуждения, когда в условиях двухфотонного поглощения (ДФП) один фотон (с волновым вектором $\vec{k}_1$) берется из одного пучка, а второй фотон ($\vec{k}_2$) – из другого пучка. Вероятность перехода электрона из основного состояния в возбужденное при ДФП пропорционально корреляционной функции четвертого порядка падающего поля и когерентные эффекты в режиме ДФП принято относить к разряду эффектов квантовой оптики.

2. Перепутанные состояния. ЭПР-пары. В данной работе нас интересуют когерентные процессы, формируемые в так называемых «перепутанных состояниях» [8]. Известно, что роль кубита может выполнять любая квантовая система, имеющая, по крайней мере, два равновероятных квантовых состояния. Необходимая черта этих состояний – свойства когерентности и суперпозиции. Для когерентной суперпозиции всегда существует базис (полный набор собственных состояний). Суперпозиция означает, что не существует способа сказать,

какая из двух возможностей, формирующих суперпозицию, имеет место на самом деле. Если система состоит, например, из двух частиц (скажем, из двух электронов), то они могут быть либо независимыми, либо связанными. В случае, когда существует связь между частицами, приводящая к корреляции (как кулоновское взаимодействие электронов в CdS), возникают перепутанные (entangled) состояния: $|ent\rangle = \alpha|0\rangle_1|1\rangle_2 + \beta|1\rangle_1|0\rangle_2$, где $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ и $\alpha, \beta \neq 0$; α и β – степень перепутывания. Две частицы (например, два электрона), находящиеся в таком состоянии, называют ЭПР-парой (в честь Эйнштейна, Подольского и Розена [10]). С физической точки зрения, частицы, которые находятся в перепутанном состоянии, не являются независимыми; они скоррелированы. Если же $\alpha \to 0$ или $\beta \to 0$, обе частицы независимы. При $\alpha = \beta = 1/\sqrt{2}$ возникает максимально перепутанное состояние: $|ent\rangle = 1/\sqrt{2}\left(|00\rangle + |11\rangle\right)$, где $|ij\rangle = |i\rangle_1|j\rangle_2$, $i, j = 0,1$. Возбуждение образца осуществлялось излучением титан-сапфирового лазера на длине волны 790 нм. С помощью полупрозрачного зеркала мы получаем два пересекающихся лазерных пучка с одинаковой несущей частотой ω_L (равной половине частоты ω_e межзонного перехода электронов), но с разными волновыми векторами ($\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$). Эти два пучка действуют одновременно на одну и ту же активную область образца CdS в течение длительностей импульсов $\Delta t = 50$ фс. Обсудим поведение нашей ЭПР-пары, состоящей из двух взаимодействующих электронов в условиях двухквантового перехода в суперпозиционное состояние под действием двух разных фотонов из разных пучков. В принципе, фотоны $\left(\vec{k}_1, \omega_L\right)$ и $\left(\vec{k}_2, \omega_L\right)$ равноправны и, потому, порядок их поглощения каждым из электронов равновероятен. В результате ДФП каждый электрон ЭПР-пары переходит в свое суперпозиционное состояние: $\Psi_e\left(\vec{k}_1, \omega_L; -\vec{k}_2, \omega_L\right)$ и $\Psi'_e\left(\vec{k}_2, \omega_L; -\vec{k}_1, \omega_L\right)$. Они отличаются разной «решеткой» неравновесной электрической поляризации: $\vec{k}_1 - \vec{k}_2$ и $\vec{k}_2 - \vec{k}_1$, на которых рассеиваются в противоположных направлениях $\vec{k}_{ПССИ1} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2$ и $\vec{k}_{ПССИ2} = \vec{k}_2 - \vec{k}_1$ сигналы ПССИ. Если бы электрон не состоял в ЭПР-паре, то в его суперпозиционном состоянии мы бы имели лишь одну «решетку» (скажем, $\vec{k}_1 - \vec{k}_2$, соответствующую одному порядку поглощения разнонаправленных фотонов при ДФП), но из-за того, что он связан взаимодействием с другими электронами, электрон-«напарник» обеспечивает другой порядок поглощения разнонаправленных фотонов в процессе двухквантового поглощения с образованием еще одной «решетки»: $\vec{k}_2 - \vec{k}_1$. Обе «решетки» и, соответственно, двухлепестковый сигнал ПССИ принадлежат ЭПР-паре, а не одиночному электрону. По-существу, эти сигналы ПССИ являются экспериментальным подтверждением существования в системе перепутанных состояний. Поглощенная в одном двухквантовом акте энергия $2\hbar\omega_L$ разнонаправленных фотонов ($\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$) высвечивается в противоположных направлениях с энергией $\hbar\omega_L$ сигналов ПССИ1 и ПССИ2. Ситуация пояснена на рис.1, где схема «a» демонстрирует образование ЭПР-пары. Остальные схемы («b» и «c») указывают направления двухимпульсного возбуждения образца CdS под углом 60° между лазерными пучками. Поскольку в схеме «b» сигналы ПССИ распространяются вдоль образца, что технически неудобно при их детектировании, то в нашем эксперименте была использована схема «c». В данной работе представлены результаты эксперимента по поиску и обнаружению сигналов ПССИ в полупроводниковом кристалле CdS толщиной 1 мм при комнатной температуре в условиях двухфотонного поглощения излучения титан-сапфирового лазера на длине волны 790 нм. Необходимость использования двухфотонного режима возбуждения CdS на таких длинах волн экспериментально доказана в работе [11], а также в нашей работе [12].

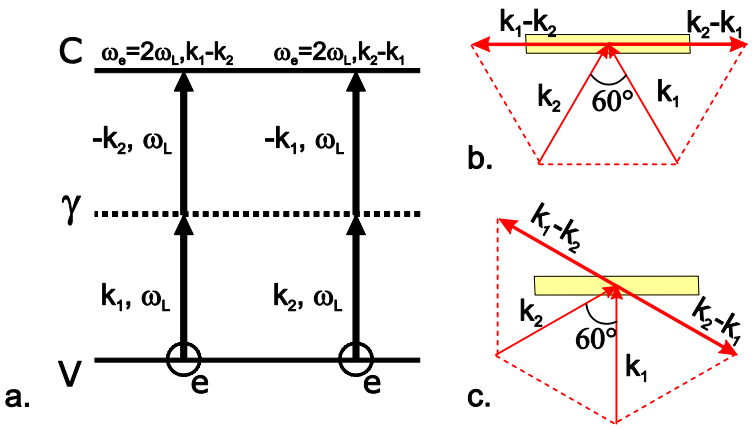


Рис. 1. Формирование в образце CdS ЭПР-пары
a) симметричная схема возбуждения; b) и экспериментально удобная схема возбуждения; c) V – валентная зона; e – электроны, C – зона проводимости.

Поскольку ширина запрещенной зоны кристалла CdS равна 2,48 эВ, то для возбуждения электрона из валентной зоны в зону проводимости необходимы два фотона излучения титан-сапфирового лазера. Более того, в экспериментальной работе Хилмана, Войта и Редли [11] указан механизм, связывающий в кристалле CdS электроны в пары. Они указывают, что при коэффициенте нелинейного двухфотонного поглощения, равном 2,7 см/ГВт, и при типичной энергии импульса, равной 1 мкДж, достигается плотность пар носителей около $5\cdot10^{16}$ см$^{-3}$. Хилман и другие предположили, что в этом высокоплотном газе пар носителей существенную роль играют экситоны и экситонные молекулы, т.е. роль ЭПР-пар могут играть биэкситоны. Кроме того, при комнатной температуре важную роль играют фононы. Все это напоминает куперовские пары в сверхпроводниках, когда два электрона с противоположными спинами путем обмена фононами образуют связанное состояние (куперовскую пару – см. Физ. энц. словарь, 1983, стр.659). В нашем случае механизм образования ЭПР-пары из двух электронов сложнее из-за высокой температуры, требующей учета кулоновской экранировки [14]. Разумеется, что физика формирования ЭПР-пары в кристалле CdS при комнатной температуре требует специального анализа.

Отметим, что двухфотонным поглощением и записью пространственно-временных интерферограмм на его основе занимался А. К. Ребане с коллегами [13], но основное различие между работой [13] и нашей работой состоит в том, что в [13] волновые векторы фотонов $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$ (участвующих в ДФП) параллельны и процесса «перепутывания фотонов» не происходило. Соответственно, сигнал ССИ испускается в направлении $\vec{k}_1 \square \vec{k}_2$ с несущей частотой, равной сумме несущих частот участвующих (в ДФП) фотонов. В данной работе исследуется ситуация, когда волновые векторы $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$ не параллельны друг другу и в ДФП участвуют фотоны из разных световых пучков. В результате ДФП каждый электрон ЭПР-пары оказывается в суперпозиционном состоянии (с суммарной энергией фотонов $2\hbar\omega_L$), а в активной части образца под действием пересекающихся пучков сформируются динамические «решетки» ($\vec{k}_1 - \vec{k}_2$ и $\vec{k}_2 - \vec{k}_1$) неравновесной электрической поляризации, на которых рассеиваются сигналы ПССИ. Такая ситуация типична для фемтосекундной когерентной спектроскопии трехфотонного и четырехфотонного смешений [15], а также для фемтосекундной техники Вейнера–Иппена [16]. Энергия двух фотонов $2\hbar\omega_L$, потраченная на возбуждение суперпозиционного состояния и на создание наведенной «решетки», высвечивается образцом в виде двух противоположно направленных сигналов ПССИ с общей энергией $2\hbar\omega_L$. Таким образом, выполняются законы сохранения энергии и импульса. Поскольку «решетка» была наведена двумя равными по длине волновыми векторами, а каждый из вышеупомянутых откликов ПССИ будет иметь такую же длину волнового вектора $\vec{k}_{ПССИ}$, то следует ожидать, что угол φ между $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$, а также между $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_{ПССИ}$, будет составлять 60°, причем волновые векторы записывающих импульсов и отклика ПССИ будут образовывать равносторонний треуголь-

ник. Так, если длина волны записывающих пучков равна 790 нм, то и длина волны откликов ПССИ будет равна 790 нм. Аналогичная ситуация возможна и в случае возбуждения сигналов ПССИ в режиме трехфотонного поглощения. Такой режим перепутывания между тремя кубитами (у нас – тремя электронами) получил название ГХЦ-тройки (в честь Гринбергера, Хорна и Цайлингера [17]). В нем участвуют разнонаправленные фотоны из трех пересекающихся лазерных пучков. Например, этот режим может быть реализован на нанокристаллах CdS (с шириной запрещенной зоны, соответствующей 440 нм) при одновременном возбуждении тремя пересекающимися лазерными пучками с длиной волны 900-1000 нм [18]. Сигналы ПССИ в этом режиме удовлетворяют следующим условиям пространственного синхронизма:

$$\vec{k}_{ПССИ1} = -\vec{k}_1 + \vec{k}_2 + \vec{k}_3$$
$$\vec{k}_{ПССИ2} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2 + \vec{k}_3 \quad .$$

а экспериментально удобный режим реализуется при угле φ между $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$, равном 60°.

3. Фемтосекундные сигналы ПССИ в условиях двухфотонного возбуждения двумя скрещенными лазерными пучками. Прежде, чем приступить к расчету волновой функции электрона в суперпозиционном состоянии, в котором он оказался в режиме двухквантового возбуждения двумя скрещенными пучками, определимся с геометрией эксперимента. Она пояснена на рис. 1«с». Лазерный пучок с волновым вектором $\vec{k}_1$ направлен перпендикулярно плоскости образца, а пучок с волновым вектром $\vec{k}_2$ направлен под углом $\varphi = 60°$ к направлению $\vec{k}_1$. Следуя [13], волновую функцию электрона в ЭПР-паре в суперпозиционном состоянии запишем в виде:

$$\left|\psi(t,\omega_e)\right\rangle = \left|0\right\rangle + a(t,\omega_e)\left|exc\right\rangle, \qquad (1)$$

где $\left|0\right\rangle$ – волновая функция электрона в валентной зоне; $\left|exc\right\rangle$ – волновая функция электрона в возбужденном состоянии в зоне проводимости, в которой он оказался под воздействием двух фотонов с волновыми векторами $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$; $a(t,\omega_e)$ – амплитуда вероятности найти электрон в этом состоянии в результате ДФП. Расчет $a(t,\omega_e)$ приводит к следующей формуле

$$\begin{aligned} a(t,\omega_e) &= \frac{2i}{\hbar} e^{-i\omega_e t} \times \\ &\times \left[\frac{\left\langle exc\right| \vec{p}\vec{E}_0 e^{i(\omega_L t - \vec{k}_1\vec{r})} \left|\gamma\right\rangle \left\langle\gamma\right| \vec{p}\vec{E}_0 \cos\varphi \cdot e^{i(\omega_L t + \vec{k}_2\vec{r})} \left|g\right\rangle}{\hbar(\omega_\gamma - \omega_L + i\Delta_\gamma)} + \right. \\ &\left. + \frac{\left\langle exc\right| \vec{p}\vec{E}_0 \cos\varphi \cdot e^{i(\omega_L t - \vec{k}_2\vec{r})} \left|\gamma\right\rangle \left\langle\gamma\right| \vec{p}\vec{E}_0 e^{i(\omega_L t + \vec{k}_1\vec{r})} \left|g\right\rangle}{\hbar(\omega_\gamma - \omega_L + i\Delta_\gamma)} \right] = \\ &= \frac{2i}{\hbar} e^{i\omega_e t} E_0^2(\omega_e - 2\omega_L) \cdot \left[e^{-i(\vec{k}_1 - \vec{k}_2)\vec{r}} + e^{-i(\vec{k}_2 - \vec{k}_1)\vec{r}} \right] Q_П \cos\varphi \end{aligned} \quad , \qquad (2)$$

где

$$Q_П = \frac{\left\langle exc\right| \vec{p} \left|\gamma\right\rangle \left\langle\gamma\right| \vec{p} \left|g\right\rangle}{\hbar(\omega_\gamma - \omega_L + i\Delta_\gamma)}$$

представляет собой параметр двухфотонного электродипольного поглощения; $E_0^2(\omega_e - 2\omega_L)$ – фурье-образ квадрата электрической огибающей импульсов с несущей частотой ω_L; φ – угол между $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$; ω_e – частота межзонного электронного перехода; t – время взаимодействия импульсов с образцом ($\Delta t = 50$ фс); ω_γ и Δ_γ – частота и ширина промежуточного не-

резонансного уровня $|\gamma\rangle$. В результате воздействия на образец CdS двух скрещенных лазерных пучков, инициировавших процесс ДФП, в нем была создана неравновесная электрическая поляризация, осциллирующая на частоте ω_L. Зная волновую функцию (1) можно найти среднее значение $\langle \vec{p}_e(t) \rangle$ неравновесного электрического диполя электрона в ЭПР-паре и неравновесной электрической поляризации активной части образца: $\langle \vec{P}(t) \rangle = \sum_{e=1}^{N} \langle \vec{p}_e(t) \rangle$, где N – число ЭПР-пар. Электрическое поле активной части образца пропорционально второй производной по времени от $\langle \vec{P}(t) \rangle$ [15]:

$$\vec{E}(\vec{R},t) \propto \frac{1}{c^2 R}\left[\left[\left\langle \ddot{\vec{P}}(t) \right\rangle \times \vec{n}\right] \times \vec{n}\right] \cdot e^{i\vec{k}_{ПССИ}(\vec{R}-\vec{r}_e)}, \quad (3)$$

где R – расстояние от центра лабораторной системы координат до центра системы координат активной части образца, $\vec{r}_e$ – радиус-вектор электрона в этой системе координат образца; $\vec{n}$ – единичный вектор в направлении волнового вектора $\vec{k}_{ПССИ}$, c – скорость света. Тогда, интенсивность отклика $\Delta I(\vec{k}_{ПССИ}, t)$ в единицу телесного угла $\Delta\Omega = \frac{d\vec{k}_1 d\vec{k}_2}{|\vec{k}_{1,2}|}$ равна

$$\Delta I(\vec{k}_{ПССИ}, t) = \frac{c}{8\pi} \vec{E}(R,t) \cdot \vec{E}^*(R,t) \Delta\Omega. \quad (4)$$

Расчет показал, что условия пространственного синхронизма сигналов ПССИ имеют вид:

$$\vec{k}_{ПССИ} = \vec{k}_{1(2)} - \vec{k}_{2(1)}, \quad (5)$$

откуда следует, что при угле $\varphi = 60°$ волновые векторы $\vec{k}_1$, $\vec{k}_2$ и $\vec{k}_{ПССИ}$ образуют равносторонний треугольник (см. рис. 1). На наведенных «решетках» электрической поляризации, созданных возбуждающими волнами с параметрами $(\vec{k}_1, \omega_L)$ и $(\vec{k}_2, \omega_L)$, одновременно рассеиваются два сигнала ПССИ в направлениях $\vec{k}_{ПССИ1} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2$ и $\vec{k}_{ПССИ2} = \vec{k}_2 - \vec{k}_1$.

4. Экспериментальное наблюдение и исследование фемтосекундного сигнала ПССИ в полупроводниковом кристалле CdS при комнатной температуре. Блок-схема фемтосекундной экспериментальной установки, использовавшейся в наших исследованиях, приведена на рис. 2.

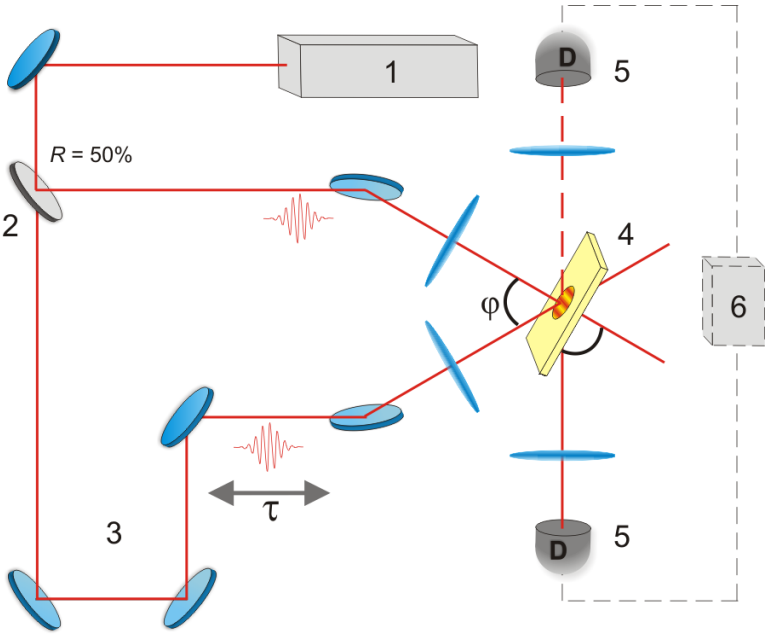


Рис. 2. Фемтосекундная экспериментальная установка для наблюдения и исследования сигналов ПССИ в условиях ДФП: 1 – фемтосекундный титан-сапфировый лазер и усилитель; 2 –полупрозрачное зеркало; 3 – линия задержки; 4 – образец; 5 – фотодетекторы; 6 – схема совпадений. Штриховой линией обозначена часть установки, которая будет использована в дальнейших корреляционных исследованиях сигналов ПССИ.

Фемтосекундная лазерная система включала в себя титан-сапфировый лазер и такой же усилитель. Она выдавала на выходе импульсы с длительностью $\Delta t = 50$ фс и энергией

0,4 – 0,7 мкДж на длине волны 790 нм. Излучение лазерной системы делилось полупрозрачной пластиной ($R = 50\%$) на два одинаковых пучка, один из которых направлялся линзой с фокусным расстоянием 110 мм перпендикулярно поверхности образца в направлении $\vec{k}_1$. Второй импульс сначала попадал в линию задержки τ, а затем с помощью зеркал и линзы (с тем же фокусным расстоянием 110 мм) направлялся на ту же область образца под углом $\varphi = \vec{k}_1 \hat{\vec{k}}_2$. Отметим, что наличие линии задержки необходимо для обеспечения одновременного прихода на образец обоих импульсов. Исследуемый образец (CdS) высвечивал в направлениях $\vec{k}_{ПССИ1}$ и $\vec{k}_{ПССИ2}$ сигналы ПССИ, которые с помощью линзы направлялись на фотодетектор. В данной работы мы изучали временной спад только одного из них. Снятый при угле $\varphi = 60°$ сигнал ПССИ изображен на рис. 3. Форма и скорость временного спада определяется либо временем поперечной обратимой релаксации (T_2^*), либо самым коротким из времен оптической дефазировки (T_d).

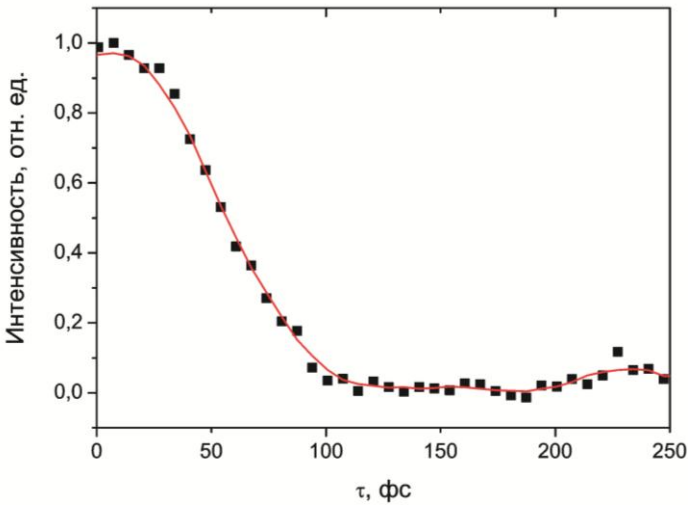


Рис. 3. Временная кривая спада сигнала ПССИ

Из экспериментально снятого спада (рис. 2) следует что время спада равно 170 – 180 фс, что согласуется со значением $T_d = 170$ фс, полученным в работе [12]. Исследования корреляционных свойств ПССИ будут продолжены на новой установке (см. рис. 3, где дополнительные узлы обозначены штриховыми линиями).

5. Заключение. В данной работе впервые экспериментально наблюден сигнал «перепутанной» свободной световой индукции в полупроводниковом кристалле CdS (находившемся при комнатной температуре) в условиях ДФП, когда каждый из двух фотонов принадлежит разным скрещенным световым пучкам для обеспечения «перепутывания» фотонов с разными волновыми векторами ($\vec{k}_1$ и $\vec{k}_2$). Установлено, что фотоны двухквантового ПССИ, испущенные в направлениях $\vec{k}_{ПССИ1}$ и $\vec{k}_{ПССИ2}$, являются коррелированными. По-существу, экспериментально реализован двухквантовый коррелятор фотонов в режиме ПССИ. Таким образом, явление ПССИ, наряду с явлением СПР света, может быть использовано при решении задач квантовой оптики.

Данная статья поддержана грантами РФФИ (№ 09-02-00136_а, № 11-02-00040_а, № 12-02-90000-Бел_а), Программами Президиума РАН «Квантовые мезоскопические и неупорядоченные системы» и ОФН РАН «Фундаментальная оптическая спектроскопия и ее приложения».

Список литературы

[1] Л. Мандель, Э. Вольф, *Оптическая когерентность и квантовая оптика. Пер. с англ./под ред. В.В. Самарцева*, Физматлит, Москва (2000).
[2] М.О. Скалли, М.С. Зубайри, *Квантовая оптика. Пер. с англ./под ред. В.В. Самарцева*, Физматлит, Москва (2003).

[3] Д.Н. Клышко, *Письма в ЖЭТФ* **6** (1967) 490.
[4] Д.Н. Клышко, *Фотоны и нелинейная оптика*, Наука, Москва (1980).
[5] С.А. Ахманов, В.В. Фадеев, Р.В. Хохлов, О.Н. Чунаев, *Письма в ЖЭТФ* **6** (1967) 575.
[6] S.T. Harris, M.P. Oshman, R.L. Byer, *Phys. Rev.Lett.* **18** (1967) 732.
[7] D. Mage, H. Mare, *Phys. Rev.Lett.* **18** (1967) 905.
[8] Д. Бауместер, А. Экерт, А. Цайлингер. *Физика квантовой информации. Пер. с англ./под ред. С.П. Кулика, Т.А. Шмаонова*, Постмаркет, Москва (2002).
[9] И.В. Евсеев, Н.Н. Рубцова, В.В. Самарцев, *Когерентные переходные процессы в оптике*, Физматлит, Москва (2009).
[10] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Phys. Rev*. **47** (1935) 777.
[11] F. Hillmann, J. Voigt, H. Redlin, *Appl. Phys. Lett.* **77** (2000) 4151.
[12] K.V. Ivanin, A.V. Leontyev, V.S. Lobkov V.G. Nikiforov, K.M. Salikhov, V.V. Samartsev, G.M. Safiullin, *Laser Phys. Lett.* **6** (2009) 644.
[13] A.K. Rebane, M. Drobyshev, A. Korotki, *Jour. of Lumin.* **98** (2002) 341.
[14] B. Kippelen, J.B. Grun, B. Honenlage, R. Levy, *JOSA B* 8 (1991) 2363.
[15] С.А. Козлов, В.В. Самарцев, *Основы фемтосекундной оптики*, Физматлит, Москва (2009).
[16] A.M. Weiner, E.P. Ippen, *Opt. Lett*. **9** (1983) 53.
[17] D. Greenberger, M.A. Horne, A. Zeilinger, *Bell's theoreme, quantum theory and conceptions of Universe*, Cluver, Dordrecht (1989).
[18] W.M. Chon, M. Gu, *Appl. Phys. Lett.* **84** (2004) 4472.

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ФОТОННОГО ЭХА ПРИ ЕГО ЧАСТИЧНОМ РАССЕЯНИИ НА ОПТИЧЕСКИХ ФОНОНАХ В НАНОПЛЕНКАХ ZNO

В. Т. Сидорова[1], Н. С. Вашурин[1], И. И. Попов[1,2], С. А. Степанов[1], М. Б. Белонено[3]

[1]ФГБО ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
[2] ФГБО ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 2
3 НОУ ВПО «Волгоградский институт бизнеса»
veranig@yandex.ru

1. Введение. В работе обсуждаются особенности регистрации сигналов фотонного эха в пленках оксида цинка наноразмерной толщины на свободных экситонах в режиме двухфотонного возбуждения при комнатной температуре при рассеянии части его энергии на безизлучательном фононном переходе. Одной из проблем осуществления экспериментов по наблюдению фотонного эха (ФЭ) при комнатной температуре являются времена релаксации резонансных сред от сотен фемтосекунд до единиц пикосекунд. При таких временах релаксации среды для формирования ФЭ необходимы возбуждающие лазерные импульсы длительностью не более десятков фемтосекунд. В то же время фемтосекундные лазеры с большой спектральной плотностью энергии, достаточной для наблюдения ФЭ, работают в ИК диапазоне. Поэтому в эксперименте [1], когда ФЭ возбуждалось фемтосекундными лазерными импульсами на длине волны 800 нм, использовался режим двухфотонного возбуждения.
2. Особенности регистрации фотонного эха в нанопленках ZnO. Особенностью выполненных экспериментов является возбуждение фотонного эха импульсами лазерного излучения на несущей частоте 800 нм, в полупроводниковой пленке оксида цинка с шириной запретной зоны 3,4 эВ. Сигнал ФЭ регистрировался на длинах волн 800-820 нм при комнатной температуре.
В резонансном переходе задействованы квантовые уровни свободных экситонов, поскольку они лежат внутри запрещенной зоны и для их возбуждения достаточна энергия кванта ниже

той, которая необходима для электронного перехода [2] (рис 1). Автором работы [3, с. 104] по исследованию наноструктур на основе ZnO показано, что по мере перехода от гелиевых температур к более высоким температурам пики люминесценции связанных экситонов экспоненциально уменьшаются, а пики, обязанные свободным экситонам, остаются на прежнем уровне интенсивности, что говорит о наличии квантовых уровней свободных экситонов при комнатных температурах. В работах [4, 5] по наблюдению двухфотонного поглощения и экситонное излучение в ZnO была показаны спектры регистрируемых сигналов фотолюминесценции в зависимости от спектра накачки интенсивности падающего излучения. Причем в работе [4] длина волны накачки варьировалась от 710 до 800 нм и эксиотнное излучение наблюдалось на длине волны 382 нм. В работе [5] длина волны накачки изменялась от 800 нм до 960 нм, экситонное же излучение наблюдалось на 400 нм. Поскольку в нашем эксперименте на пленки ZnO подавались лазерные импульсы на длине волны 800 нм, то, очевидно, имело место двухфотонное поглощение, и резонанс со средой происходил на длине волны 400 нм. Таким образом, в проведенном нами эксперименте наблюдалось первичное ФЭ в режиме двухфотонного поглощения, на экситоном переходе, соответствующем длине волны 400 нм. В работе [6] приведены результаты эксперимента по двухфотонному возбуждению сигналов ФЭ в полупроводнике CdS при комнатной температуре. Первичное фотонное эхо возбуждалось лазерными импульсами на длине волны от 600 до 700 нм на экситонном переходе кристалла CdS толщиной порядка 40 мкм. Отличительной особенностью выполненного нами эксперимента от описанной выше работы [6] является возбуждение фотонного эха в полупроводниковых пленках, толщиной меньшей длины волны возбуждающего излучения (100, 600 и 800 нм).

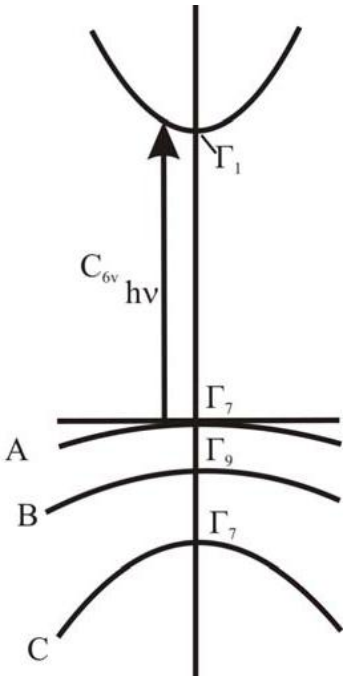


Рис. 1. Схематическое изображение зонной структуры ZnO, где hν=3,4376 эВ при T=4,2 K. Расщепление на три валентные зоны (A, B, C) вызвано кристаллическим полем и спин-орбитальным расщеплением.

ФЭ возбуждалось на квантовом переходе на длине волны 400 нм, эхо-сигнал регистрировался на длинах волн от 800 до 820 нм. Регистрация эхо-сигнала на длинах волн, значительно превышающих длину волны излучения резонансного квантового перехода, объясняется в рамках процесса каскадной релаксации горячих экситонов, включающего в себя следующие шаги [7]: первый – двухфотонное поглощение падающих фотонов ($\hbar\omega_i$) с возбуждением экситона; второй – релаксация этого экситона в более низкие энергетические состояния с последующей эмиссией оптических LO фононов [8] через каскадный процесс; третий – излучательная рекомбинация экситона с испусканием рассеянного фотона

$$\hbar\omega_s \cong \hbar\omega_i - n\hbar\omega_{LO}.$$

Реализованный нами режим регистрации ФЭ подтверждается работой [3, с. 125], в которых получены режимы испускания фотонов с меньшей энергией по отношению к энергии возбуждения резонансного экситонного перехода на пленках оксида цинка в режиме комбинационного рассеяния света.

3. Нанооптический эффект изменения времени релаксации среды T2. В нашей работе были проведены эксперименты по измерению времени поперечной релаксации среды T_2. Для этого снимались кривые спада интенсивности эхо-сигнала, возбуждаемого в пленках толщиной 100, 600 и 800 нм, при увеличении временного интервала между возбуждающими импульсами (рис. 2). При этом были зарегистрирован нанооптический эффект уменьшения упругих взаимодействий и снижения затухания наведенной поляризации в резонансной среде по мере приближения длины трехмерного резонансного образца к двухмерному, заключаю-

щийся в увеличение времени необратимой поперечной релаксации среды по мере уменьшения толщины пленки [9] (рис. 2). В проведенном эксперименте наблюдалось уменьшение времени поперечной релаксации среды T_2 на 30 % при изменении толщины пленки от 600 до 800 нм. Установленный факт мы связываем, во-первых, со структурной особенностью исследуемых пленок и, во-вторых, с уменьшением интенсивности продольных взаимодействий возбужденных частиц по мере уменьшения толщины пленки.

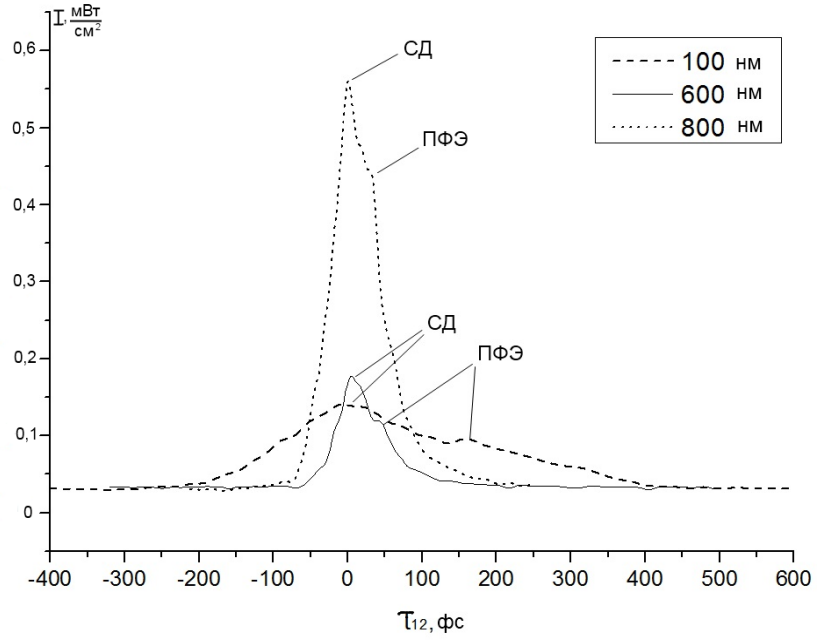


Рис. 2. Зависимость спада интенсивности самодифракции и фотонного эха от временного интервала между возбуждающими импульсами, зафиксированная на пленках ZnO различной толщины.

Исследуемая пленка ZnO представляла собой структуру, состоящую из плотно расположенных кристаллов с неоднородными размерами (диаметром порядка 500 нм). Пространство между кристаллитами заполнено рентгеноаморфной фазой оксида цинка. Таким образом, в апертуру возбуждающего излучения (диаметром 700 мкм) попадало тысячи кристаллитов. Формирующиеся под воздействием возбуждающего лазерного излучения экситоны испытывают поперечные взаимодействия в пределах одного кристаллита. Эти взаимодействия с экситонами соседних кристаллитов ослабляются аморфной фазой оксида цинка, расположенной между кристаллитами. Что, в целом, приводит к уменьшению интенсивности упругих взаимодействий в пленках наноразмерной толщины и, соответственно, увеличению времени необратимой поперечной релаксации T_2. Второй причиной увеличения времени релаксации T_2 является уменьшение интенсивности продольных взаимодействий возбужденных резонансных частиц по мере уменьшения толщины пленки. Вблизи поверхности пленки на толщинах, соизмеримых с длиной свободного пробега частиц их продольные взаимодействия значительно уменьшаются. По мере уменьшения толщины пленки доля поверхностных зон с уменьшенными продольными взаимодействиями в общей толщине пленки увеличивается. Что и приводит к уменьшению продольных взаимодействий частиц в целом в более тонкой пленке.

Таким образом, в работе сообщается об особенностях двухфотонного возбуждения и регистрации ФЭ в условиях рассеяния части энергии сигнала на оптических фононах в полупроводниковых пленках ZnO наноразмерной толщины. Так же приводится объяснение эффекта уменьшение времени поперечной релаксации среды T_2 при изменении толщины пленки.

Работа поддержана грантом РФФИ №12-02-00736а и Единый заказ-наряд Минобрнауки для Марийского государственного университета на 2012-2014 годы.

Список литературы

[1] Попов И.И., Вашурин Н.С., Газизов К.Ш., Путилин С.Э., Степанов С.А., Сушенцов Н.И., Сидорова В.Т. Фотонное эхо в парах молекулярного йода и нанопленках как метод оптической обработки информации // Известия РАН, серия физическая, 2012. Т. 76. № 3. С. 362-365;

[2] Meyer B. K. et al. Bound exciton and donor-acceptor pair recombination's in ZnO // Phys. Stat. Sol. (b) 241. 2004. P. 231 – 260.
[3] Заламай В.В. Оптические свойства тонких слоев в наноструктурах на основе GaN и ZnO // Автореферат на соискание уч. степени д.ф.-м.н., Кишинев, 2006.
[4] Shim H. S. et al. Nonlinear Optical Properties of ZnO // Bull. Korean Chem. Soc. 2010. V. 31. № 9. С. 2675 – 2678.
[5] Dai D.C. et al. Observation of Both Second-Harmonic and Multiphoton-Absorption-Induced Luminescence in ZnO // IEEE photonics technology letters. V. 18. №14. 2006. P. 1533 – 1535.
[6] Hiliman F., Voigt J., Redlin H. Two-photon excited photon echo in CdS // Applied physics letters. V. 77. №. 25. 2000. P. 4161 – 4163.
[7] Meyer B.K. et al. Bound exciton and donor-acceptor pair recombination's in ZnO phys. stat. sol. (b) 241. 2004. P. 231 – 260.
[8] Martin R.M. and Varma C.M. Cascade theory of inelastic scattering of light // Phys. Rev. Lett. 1971. V. 26. is. 20. P. 1241 – 1244.
[9] Вашурин Н.С., Попов И.И., Путилин С.Э., Степанов С.А., Сушенцов Н.И. Обнаружение и исследование сигналов первичного и стимулированного фотонного эха в неорганических нанопленках // Когерентная оптика и оптическая спектроскопия // Казань. КГУ. 2011. 2011. Вып XV. С.40 – 46.

ФОТОННОЕ ЭХО КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO

С. А. Степанов[1], В. Т. Сидорова[1], Н. С. Вашурин[1,2], И. И. Попов[1,2], Н. И. Сушенцов[2]

[1]ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
[2]ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3,
stepan_mail@mail.ru

1. Введение. В качестве объекта исследования в данной работе выбраны тонкие пленки оксида цинка (ZnO) толщиной 600 нм, а также трехслойная структура толщиной 300 нм на основе пленок оксида цинка и двух слоев кремния, легированных фосфором Si(P) и бором Si(B). Исследуемые пленки получены методом вакуумного магнетронного распыления. В последнее время отмечено возникновение интереса к исследованию свойств структур на основе *ZnO* покрытий. Повышенный интерес к неэпитаксиальным ZnO-пленочным структурам связан также с возможностью их использования в тонкопленочных солнечных элементах в качестве прозрачных проводящих и буферных слоев [1-4]. В противоположность разработанным методам эпитаксиального наращивания ZnO-слоев на ориентирующих кристаллических подложках, технология реактивного магнетронного распыления представляет собой относительно простой и дешевый метод для осаждения на прозрачных стеклянных подложках кристаллических ZnO-пленочных покрытий высокого оптического качества.

Магнетронное распыление – метод ионного распыления, характерной особенностью которого является наличие магнитного поля у распыляемой поверхности мишени, позволяющей локализовать плазму, и тем самым повысить скорость распыления. Распыленные с мишени атомы осаждаются на подложке в виде пленки.

2. Экспериментальная часть. Как показано в работе [5], При получении пленок методом магнетронного распыления, как показано в работе [5], образуются как рентгеноаморфные, так и поликристаллические (поликластерные) системы (с различной степенью текстуриро-

ванности) из-за формирования их в условиях потери морфологической устойчивости плоских поверхностей (гранных форм роста) [6]. Поскольку пространство между кристаллитами заполнено рентгеноаморфной фазой, то на границе раздела этих двух фаз в плёнках ZnO существует возможность достижения высоких концентраций собственных дефектов: кислородных вакансий и междоузельных атомов цинка, формирующий потенциальный барьер. Таким образом, кристаллиты имеют три направления в декартовой системе координат в которых действует эффект квантового ограничения (запрещённые зоны). Это говорит о возможности возникновения квантовых точек на гранях сформировавшихся кристаллитов. Особенностью наноразмерных поликристаллических структур является изменение их оптических свойств, по сравнению со свойствами, которые проявляются в монокристалле. Одним из таких установленных нами свойств является уменьшение однородной ширины $\gamma^{(1)}$ резонансной спектральной линии пленки по мере уменьшения толщины исследуемой плёнки. Этот эффект объясняется уменьшением упругих взаимодействий и снижением затухания наведённой поляризации в резонансной среде по мере приближения длинны трёхмерного образца к двумерному. Этот результат получен на основе регистрации зависимости затухания интенсивности первичного фотонного эха (ПФЭ) при увеличении временного интервала между возбуждающими импульсами. В эксперименте снимались кривые спада интенсивности сигнала ПФЭ при увеличении временного интервала между возбуждающими импульсами для пленок ZnO толщиной в 600 нм и в 800 нм (рис. 1). По двум точкам снятых кривых на участке, соответствующем нулевому значению сигнала самодифракции (СД), определялось однородной ширины $\gamma^{(1)}$ резонансной спектральной линии пленки согласно выражению:

$$\gamma^{(1)} = \frac{1}{T_2} = \frac{\ln(\frac{I_n^{(1)}}{I_n^{(2)}})}{4(\tau_{12}^{(2)} - \tau_{12}^{(1)})}, \qquad (1)$$

где $I_п^{(1)}$ и $I_п^{(2)}$ – интенсивности эхо-сигналов, соответствующие временным интервалам между возбуждающими импульсами $\tau_{12}^{(1)}$ и $\tau_{12}^{(2)}$. Для пленки толщиной 800 нм величина $\gamma^{(1)}$ составила 1,254 ТГц, а для пленки 600 нм – 0,49 ТГц. То есть величина $\gamma^{(1)}$ в тонких пленках наноразмерной толщины уменьшается по мере уменьшения толщины пленки.

Для пленки толщиной 600 нм наибольшая мощность эхо-сигнала составила $1{,}2 \cdot 10^{-6}$Вт, для 800 нм – $4{,}3 \cdot 10^{-6}$ Вт. Отсюда следует, что по мере увеличения толщины пленки от 600 нм до 800 нм мощность эхо-сигнала возрастает в 3,6 раза. Увеличение интенсивности сигнала ПФЭ в пленке толщиной 800 нм по сравнению с пленкой в 600 нм подтверждается результатами рентгенодифракционного анализа [7] о соответственном увеличении в 1,8 раза степени кристалличности пленки (рис. 2).

Таким образом, сравнивая результаты измерения интенсивности ПФЭ для этих двух образцов пленки, можно оценить степень кристаллизации пленки в направлении ортогональном ее поверхности.

Применяя технологию управления размерами кристаллитов, реализованную для тонких плёнок Cu (рис. 3), можно получить плёнки ZnO с различными размерами и плотностью упаковки кристаллитов на плоскости. При напылении пленок меди без воздействия модулированного по интенсивности акустического сигнала получалась поверхность в виде произвольно расположенных закругленных островков (рис. 3а). При увеличении наклона излучающей плоскости генератора акустического излучения относительно подложки во всех случаях возрастала асимметрия островковых образований пленки. Под воздействием модулированного акустического сигнала обеспечивался вынос энергии из образующихся частиц пленки, при этом обеспечивалось ускорение фазового перехода атомов меди из газовой фазы в твердую. Все это приводило к ускорению остывания паров меди и получения в пленке большого количества произвольно расположенных остроконечных островков нанесенной на подложку меди (рис. 3б). Благодаря данной технологии появляется возможность изменения энергии связи в квантовых точках и, соответственно, будет меняться резонансная частота возбуждения фо-

тонного эха, что расширяет возможности построения оптических эхо-процессоров на основе тонких плёнок.

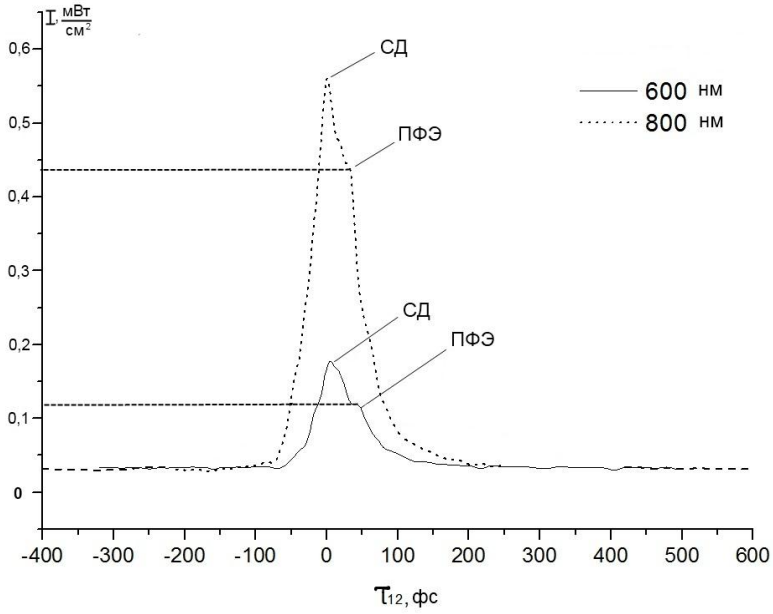


Рис. 1. Зависимость интенсивности сигнала СД и ПФЭ от времени раздвижки между возбуждающими импульсами: пленка ZnO 800 нм, ZnO 600 нм.

3. Заключение. В поликристаллических структурах тонких пленок оксида цинка наноразмерной толщины возможно наблюдение сигнала фотонного эха. Результаты рентгенодифракционного анализа показали, что количество активных частиц в кристаллитах, ориентированных в направлении <002>, в пленках толщиной 800 и 600 нм отличается в 1,87 раза. Интенсивности сигналов ФЭ отличаются в 3,6 раза. Что соответствует пропорциональности интенсивности эхо-сигнала квадрату активных частиц. Таким образом, в эксперименте показано, что по интенсивности фемтосекундного фотонного эха можно оценивать толщину наноразмерных пленок. С уменьшением наноразмерной толщины пленки ZnO увеличивается в ней доля аморфной фазы, что приводит к уменьшению упругие поперечные взаимодействий возбужденных частиц, и уменьшается интенсивность их продольных взаимодействий, что приводит к увеличению времени поперечной необратимой релаксации Т2.

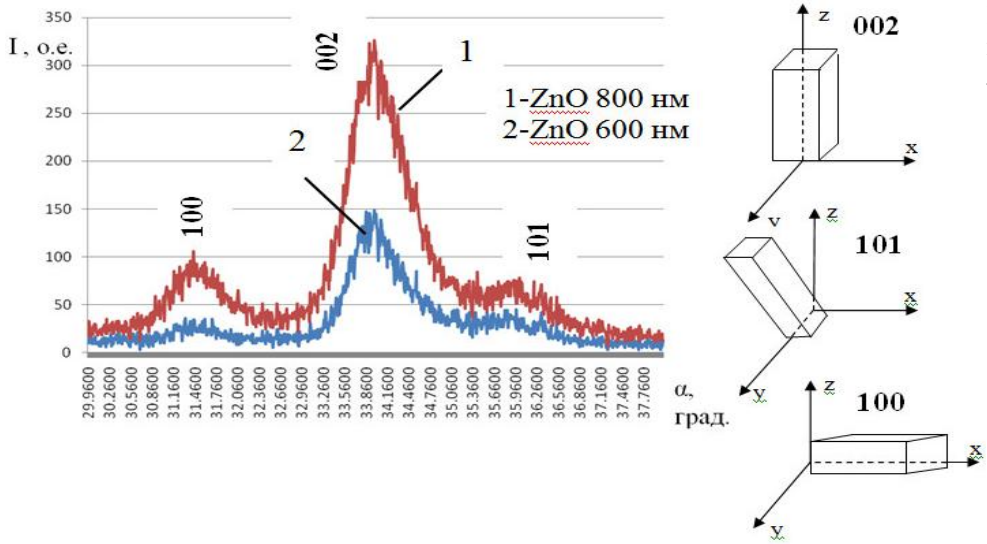


Рис. 2. Результаты рентгенодифракционного анализа пленок оксида цинка

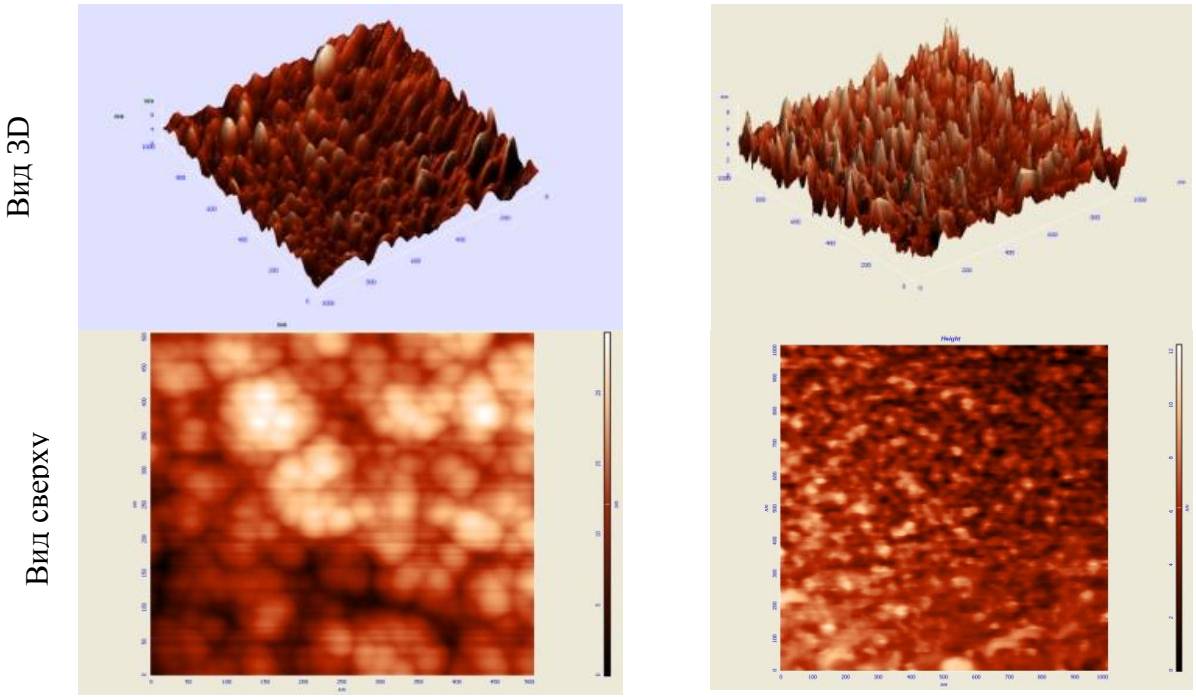


Рис. 3а. Результат напыления пленки меди без воздействия акустического сигнала.

Рис. 3б. Результат напыления пленки меди в процессе ускорения фазового перехода металла Cu.

Работа поддержана грантом РФФИ №12-02-00736а и Единый заказ-наряд Минобрнауки для Марийского государственного университета на 2012-2014 гг.

Список литературы

[1] W.-J. Jeong, G.-C. Park. // Solar Energy Materials and Sollar Cells. 2001. №65. P. 37 – 45.
[2] V.F. Gremenok et al. // Proceed. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow. 2001. P. 763 – 766.
[3] V.F. Gremenok et al. // Thin Solid Films. 2001. V. 394(1-2). P. 23 – 28.
[4] E.P. Zaretskaya, et al. // Solid State Phenomena. 2001. V. 80 – 81. P. 287 – 292.
[5] Белянин А.Ф., Самойлович М.И. Наноматериалы. Тонкие пленки как наноструктурированные системы. М.: Техномаш, 2008. 254 с.
[6] Чернов А.А. Теория устойчивости гранных форм роста кристаллов // Кристаллография. 1971. Т. 16. Вып. 4. С. 842 – 863.
[7] Вашурин Н. С., Попов И. И., Путилин С. Э., Сушенцов Н. И., Степанов С. А. Обнаружение и исследование сигналов первичного и обращенного стимулированного фотонного эха в неорганических нанопленках // Материалы Шестой международной научной школы «Наука и инновации – 2011» / Под ред. И.И. Попова, В.А. Козлова, В.В. Самарцева, В.Г. Зинова. Йошкар-Ола: МарГУ. 2011. С. 57 – 60.

III. «ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

С. Я. Алибеков, О. И. Разинская

Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3)
E-mail: o.razinskaya@mail.ru

The results of long-time researches on giving to products from porous powder materials on a basis of iron of a complex of operational properties are yielded: high tightness, corrosion firmness, antifriction is described in article.

1. Введение. В последние несколько лет мы все чаще слышим слова с приставкой «нано»: нанотехнологии, нанотехника, наноматериалы, наноэлектроника и т.п. И это не удивительно. В настоящее время эта область развивается очень бурно.

Сейчас ответить на вопрос «Когда же человек начал осваивать наномир?» довольно затруднительно, ведь еще задолго до наступления эпохи нанотехнологий человек не раз сталкивался и даже использовал эти объекты и процессы, не подозревая об этом. Сюда можно отнести процессы брожения при изготовлении вина, хлеба, сыра, т.е. использование ферментов, имеющих наноразмеры; изготовление цветных стекол путем добавки металлических наночастиц и т.д. Большинство экспертов в области стратегического планирования научно-технической политики и инвестирования уверяют, что в ближайшее время нас ждет еще одна научно-техническая революция – нанореволюция, в которой будут задействованы все области науки, производства, медицины, национальной безопасности. Всего 5-6 лет назад российские ученые и инженеры начали работу в области исследования наноструктур и разработки нанотехнологий. Однако, после принятия нескольких федеральных целевых программ и создания Российской государственной корпорации нанотехнологий (РОСНАНО) начались исследования в этой области. В нашей стране создано всего 3 центра которые занимаются нанотехнологиями (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск).

Намечая всестороннее обсуждение проблемы развития нанотехнологий, невозможно уклониться от рассмотрения неопределенности и рисков, связанных с широким внедрением нанопродукции в повседневную жизнь. Да, действительно, наночастицы могут быть чрезвычайно полезны для создания новых материалов, электроники, лекарств, но не надо забывать, что проникая через все биологические мембраны, кожу, они могут накапливаться в тканях, различных органах, затем самоорганизовываться в более сложные структуры и влиять на биохимические процессы, происходящие в организме, вызывая различные изменения функций органов и изменения на генетическом уровне.

Известно, что свойства любых материалов зависят от типа кристаллической решетки, от идеально упорядоченного его строения, т.е. без дефектов. Как показывает опыт, именно три фактора (химический состав, атомное строение дефектная микроструктура) и определяют весь комплекс физико-химических свойств любого материала. В настоящее время разработано огромное количество методов, позволяющих изучать микро- и наномир материалов: электронная и зондовая микроскопия, дифракционный и рентгеноструктурный анализ, оптическая спектроскопия, масс-спектроскопия и т.п.

В последние годы нанотехнологии широко стали использовать при производстве микро- и наноприборов машин и систем. Сюда можно отнести сенсоры, интеллектуальные наносистемы, энергетику, аэрокосмонавтику, конструкционные материалы, наноструктурированные покрытия, беспилотные летательные аппараты и другие.

2. Проблемы исследования. Порошковая металлургия – область машиностроения, занимающаяся изготовлением конструкционных материалов из порошков металлов и неметаллов размерами от нескольких микрометров до нескольких нанометров. Одной из важнейших характеристик порошковых материалов является их пористость. Пористость порошковых материалов является самостоятельным структурным фактором, от которого зависят как механические, так и физико-химические свойства.

Для снижения пористости и повышения плотности порошковых материалов изделия, изготовленные методом порошковой металлургии, пропитывают различными веществами. Кроме того, пропитывающие материалы придают изделию дополнительные свойства: антифрикционность, коррозионную стойкость и т.д.

В Поволжском государственном технологическом университете совместно с ОАО ОКТБ «Кристалл» (г. Йошкар-Ола) проводятся исследования по приданию герметичности пористым порошковым материалам на основе железа. Все известные на сегодня технологии не позволяют обеспечить надежную герметичность изделий, созданных методом порошковой металлургии.

По предлагаемой нами методике для обеспечения герметичности изделия из пористых порошковых материалов пропитываются композициями на основе технических масел (МТ-750, ИТ-20) с добавками полимеров и дисперсных частиц графита (АГ) и фторопласта (Ф-3). Пропитка проводится под воздействием ультразвуковых волн, что интенсифицирует процесс инфильтрации, повышая глубину проникновения инфильтрующих суспензий.

3. Результаты исследования. В результате исследований установили, что плотность изделий повышается до 6,9 г/см3 (плотность непропитанных образцов составляет 5,3 – 5,6 г/см3). При этом значительно снижается коэффициент трения изделий из порошка на основе железа до 0,05 – 0,07, что позволяет применять материал для создания изделий антифрикционного назначения (подшипники, антифрикционные втулки и т.д.) (табл. 1). Повышается коррозионная стойкость: образцы выдерживали действие агрессивной среды в течении 72 часов, при этом увеличение массы после испытания составило 0,11 %.

Таблица 1

Результаты физико-механических испытаний

Пропитывающий состав	коэф. трения до пропитки	коэф. трения после пропитки	снижение коэфф. трения на	герметичность
ТМ-750	0,13	0,12	8 %	-
ТМ-750+АГ	0,13	0,11	15 %	+
ПК-80	0,12	0,11	8 %	-
ПК-80+АГ	0,12	0,11	8 %	+
ИТ-20	0,12	0,10	17 %	+
ИТ-20+АГ	0,12	0,07	42 %	+

Испытания на герметичность проводили на исследовательском стенде ОАО ОКТБ «Кристалл» при давлении рабочего газа (азота) 2,5 МПа в течение 1 минуты. Образцы, которые перед пропиткой подвергали отжигу, выдерживали давление до 8 МПа.

4. Выводы

Исследования показали, что применение данной технологии изготовления изделий из пористых порошковых материалов на основе железа приводит к одновременному повышению комплекса физико-механических и химических свойств. Кроме того, расчет экономической эффективности внедрения технологии показал снижение себестоимости изготовления изделий на 35 %. Предлагаемая методика повышения свойств не требует больших материальных затрат и существенного изменения технологии, поэтому она доступна и может быть включена в любую производственную линию. Полученные свойства порошковых материалов позволяют создавать из них изделия, которые будут востребованы в автомобиле- и

авиастроении, в приборостроении. Созданные из этих материалов образцы прошли испытания и показали положительные результаты по всем предъявляемым требованиям для оборудования нефтяной и газовой промышленности.

Список литературы

[1] О. И. Разинская, С. Я. Алибеков, *Влияние режимов пропитки на микроструктуру пористых порошковых материалов,* Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева, Казань (2011).
[2] О. И. Разинская, С. Я. Алибеков, *Изготовление металлофторопластовых подшипников с заданными эксплуатационными свойствами*, Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, Москва (2012).
[3] ГОСТ 9.908-85 Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.

МОДЕЛЬ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Ю. Б. Грунин*, Л. Ю. Грунин*, Е. А. Никольская*, В. И. Таланцев, Т. Ю. Грунина*****

**Поволжский государственный технологический университет*
***Поволжский государственный технологический университет*
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
****Московский государственный университет,*
119991, Москва, ГСП-2, Ленинские горы
GruninYB@volgatech.net; askarlson@mail.ru

A scheme of the cellulose microfibrils structure is suggested and based on it for this polymer the opportunity of determining the main permolecular parameters is shown.

1. Введение. Большинство физико-химических, биологических и механических свойств целлюлозы определяется её надмолекулярной структурой, обусловленной взаимным расположением макромолекулярных цепей и существованием связывающих их сил. Однако к настоящему времени несмотря на большое количество исследований целлюлозы с применением современных физико-химических методов анализа, вопрос об её надмолекулярной структуре до сих пор ещё далёк от своего разрешения.
2. Результаты и обсуждение. На основании анализа результатов многочисленных исследований структуры и свойств целлюлозы и с учётом собственных исследований [1-6] считаем целесообразным предложить следующую схему строения микрофибриллы этого полимера (рис.1).

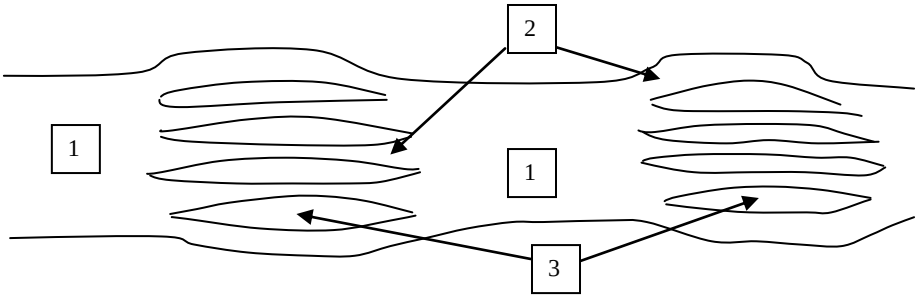


Рис. 1. Схема продольного разреза микрофибриллы:
1 – кристаллит; 2 – элементарная фибрилла; 3 – микропоры.

Из представленной схемы следует, что микрофибрилла состоит из полностью кристаллических участков (*поз*. 1 на *рис*. 1) и чередующихся с ними участков, состоящих из более мелких кристаллических образований (*поз*. 2 на *рис*. 1). Эти участки переходят друг в друга с сохранением общего количества молекулярных цепей целлюлозы. Мелкие кристаллические образования мы рассматриваем как элементарные фибриллы (*поз*. 2 на *рис*. 1). Указанные элементы разделены микропорами, на внутренней поверхности которых располагаются активные центры (–ОН и –СООН-группы), создающие электрические поля, поэтому противоположные и одноименно заряженные стенки пор удерживаются на некотором расстоянии за счёт кулоновского отталкивания. Очевидно, что суммарная площадь поверхности всех элементарных фибрилл будет вносить доминирующий вклад в общую удельную поверхность образца. В связи с тем, что наиболее выраженные реакционные свойства целлюлозы принадлежат её поверхностным молекулам, можно прийти к выводу, что доминирующая роль в химических, биологических и физико-химических взаимодействиях целлюлозы с реагентами принадлежит именно участкам, в которых дислоцируются элементарные фибриллы. Последние могут неупорядоченно взаимно ориентироваться, скручиваться, содержать значительное суммарное количество Iα-целлюлозы, что приводит к невыполнению условий Вульфа-Брэгга при рентгендифрактометрии и появлению аморфного гало.

Предлагаемая схема строения микрофибриллы целлюлозы объединяет, на наш взгляд, достоинства моделей Гесса, Фрей-Висслинга, Бартунека, Тенессена и Эллефсена, Верлхака, Шанзи, Сугиямы, Оно и др. [3] и удовлетворяет результатам значительного большинства современных экспериментальных работ по изучению надмолекулярной структуры и физико-химических свойств целлюлозы и её производных. Пространства между микрофибриллами и ламеллами (агрегатами микрофибрилл) относятся соответственно к мезопорам и макропорам (по классификации Дубинина [7]). Они выполняют функцию «транспортных пор», через которые адсорбат поступает в микропоры, о которых речь шла выше.

Форма пор может быть разнообразной, в том числе: цилиндрической, щелевидной, воронкообразной, тупиковой, сквозной и т.п. Внутренняя поверхность всех пор, как правило, гидрофильна, поскольку формируется поверхностными молекулами кристаллитов с относительно свободными активными центрами (гидроксильными, карбоксильными и карбонильными группами, а также неподелёнными электронными парами атома кислорода, входящими в структуру глюкопиранозного кольца молекулы целлюлозы). Электростатические поля этих центров за счёт кулоновского отталкивания стабилизируют капиллярно-пористую систему целлюлозы, уравновешивая стягивающий эффект, возникающий за счёт упруго-механических свойств её матрицы.

Предлагаемая схема базируется на гипотезе о доминирующем вкладе в «*аморфные*» области целлюлозы поверхностных молекул её надмолекулярных образований – ламелл, микрофибрилл, элементарных фибрилл, – причем, как уже указывалось, форма этих надструктур близка к параллелепипедной с квадратным поперечным сечением.

Будем полагать, что образец состоит из N одинаковых макромолекулярных агрегатов полимера – его кристаллитов. В таком случае, отношение числа поверхностных макромолекул к их общему числу в кристаллитах будет характеризовать степень аморфности образца:

$$\delta = 4\left(\frac{n-1}{n^2}\right), \qquad (1)$$

где: $n = \frac{d_к}{d_м}$; $d_к$ и $d_м$ – поперечные сечения кристаллита и молекулы целлюлозы соответственно. Расчёт показывает, что $d_м \approx 6{,}3$ Å.

С другой стороны,массовая степень кристалличности k полимера, определяемая методом рентгенодифрактометрии,также позволяет оценить степень его аморфности δ:

$$\delta = (1-k), \quad (2)$$

Решая эти уравнения относительно n, получаем:

$$n = \frac{2}{1-\sqrt{k}}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что связь $d_к$ и k дается выражением:

$$d_к = \frac{2d_м}{1-\sqrt{k}}. \quad (4)$$

Полученное соотношение (4) характеризует среднее значение $d_к$. Минимальная величина поперечника кристаллита с квадратным сечением соответствует значению в 12,6 Å при k=0. Эта агрегация молекул формирует первичное надмолекулярное образование – элементарную фибриллу, все молекулы которой являются поверхностными.

Поскольку элементарные фибриллы могут изгибаться, скручиваться, при этом условия Вульфа-Брегга не всегда выполняются, рентгеновский анализ относит их к аморфным областям. Элементарная фибрилла состоит из четырёх макромолекул, связанных кооперативными донорно-акцепторными водородными связями типа $O^{(6)}$–H…$O^{(3)'}$ и $O^{(3)}$…H–$O^{(6)'}$, при этом, как отмечалось выше, все ее молекулы являются поверхностными. Расчёт показывает, что аналогичная ситуация имеет место, когда совокупность взаимодействующих в фиксированном направлении элементарных фибрилл располагается в одной плоскости, формируя ленточное образование толщиной в две молекулы целлюлозы. В этом случае межленточные пространства могут формировать микропоры ячеистого вида, что согласуется с представлениями Н.И. Кленковой и Н.И. Никитина о строении аморфных областей целлюлозы [8] и с результатами экспериментов, проведенных Ли и сотр. [9].

На основе данных, полученных при определении степени кристалличности разных видов целлюлозы с помощью рентгеноструктурного анализа [9] и, исходя из «массовой» степени кристалличности, можно рассчитать число молекул целлюлозы в её «аморфной области» $N_{ац}$:

$$N_{ац} = \frac{m(1-k)}{\mu_ц} N_A = \frac{1-k}{27} \cdot 10^{23}, \quad (5)$$

где: $\mu_ц$ – масса моля целлюлозы (162 г/моль), N_A – число Авогадро ($6.023 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$), m – масса сухой целлюлозы (1 г).

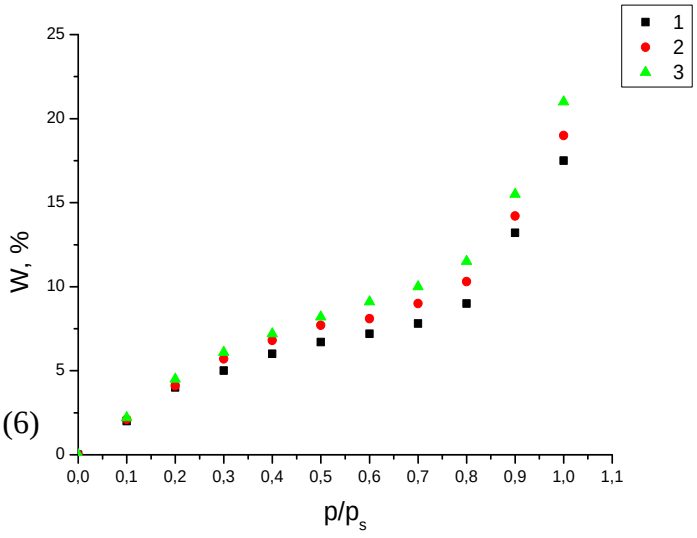


Рис. 2. Изотермы адсорбции паров воды на образцах хлопковой (1), белёной сульфитной (2) и сульфатной (3) целлюлоз

Начальные участки изотерм адсорбции воды целлюлозой, полученных методом изопиестических серий (*рис*.2), удовлетворительно описываются уравнением Лэнгмюра [10]:

$$w = w_м \frac{c \cdot p/p_s}{1 + c \cdot p/p_s}, \quad (6)$$

где: c – константа равновесия, p/p_s – относительная влажность адсорбтива, w – текущее влагосодержание образца, $w_м$ – влагосодержание монослоя.

Анализ изотерм адсорбции позволил определить число молекул воды в монослое $N_{мв}$ [3]:

$$N_{мв} = \frac{w_м}{\mu_в} \cdot N_A = \frac{w_м}{3} \cdot 10^{23} \quad (7)$$

где: $\mu_в$ – масса моля воды (18 г/моль).

Расчеты по соотношениям $N_{ац}$, $N_{мв}$, и $w_м$ для двух видов целлюлозы представлены в табл.

Таблица

Расчёты адсорбционных параметров целлюлозы по уравнениям (5), (6), (7), (8)

Вид целлюлозы	$N_{ац}$	$N_{мв}$	$w_м$, г/г	k
Хлопок	$1{,}03 \cdot 10^{21}$	10^{21}	0,03	0,72
Сульфитная белёная, 60°ШР	$1{,}3 \cdot 10^{21}$	$1{,}33 \cdot 10^{21}$	0,04	0,64

Полученные результаты однозначно свидетельствуют о том, что при адсорбции паров воды каждое глюкопиранозное кольцо одной поверхностной молекулы целлюлозы в среднем взаимодействует посредством водородной связи с одной молекулой воды. Об этом также свидетельствуют термодинамические и ЯМР-релаксационные исследования, проведённые нами ранее [2], из которых, в частности, следует, что энергия активации десорбции монослойной воды соответствует энергии одной водородной связи.

Вышесказанное позволяет связать степень кристалличности полимера с ёмкостью адсорбированного монослоя воды. Действительно, поскольку $N_{мв} = N_{ац}$, из выражений (7) и (9) получаем соотношение:

$$k = 1 - 9w_м. \quad (8)$$

В табл. приведены результаты расчёта k по формуле (8) для целлюлоз различных видов. Эти данные хорошо согласуются с результатами рентгеновских определений [8].

Выводы

Предложена схема строения микрофибриллы целлюлозы, удовлетворяющая большинству известных модельных представлений, в рамках которой показана возможность определения параметров её надмолекулярной структуры.

Представленная модель строения целлюлозной микрофибриллы и методика расчёта наноразмерных параметров её микроструктуры могут быть рекомендованы в практику разработки и реализации суперадсорбентов экологического и медицинского назначения.

Список литературы

[10]Ю.Б. Грунин, *Анализ системы целлюлоза-вода модифифированными методами протонного магнитного резонанс, Докторская диссертация*, Рига (1989).

[11]Ю.Б. Грунин, Л.Ю. Грунин, Е.А. Никольская, *Журн. физ. химии*, **Т. 81, № 7** (2007) 1324.

[12]Ю.Б. Грунин, Л.Ю. Грунин, Е.А. Никольская, В.И. Таланцев, *Бутлеровские сообщения*, **Т. 20, № 6** (2010) 35.

[13]Ю.Б. Грунин, Л.Ю. Грунин, Т.В. Смотрина, Г.Ш. Гогелашвили, С.В. Красильникова, В.И. Таланцев, *Сорбционные процессы в биополимерах и спектроскопические методы их исследования*, Марийский гос. техн. ун-т, Йошкар-Ола (2010).

[14]Ю.Б. Грунин, Л.Ю. Грунин, Е.А. Никольская, В.И. Таланцев, Д.С. Масас, *Бутлеровские сообщения*, **Т. 24, №4** (2011) 35.

[15]Ю.Б. Грунин, Л.Ю. Грунин, Е.А. Никольская, В.И. Таланцев, *Высокомолекулярные соединении,* **Т. 54, №3** (2012) 1.

[16]М.М. Дубинин, *Журн. физ. химии*, **№ 5** (1987) 1301.

[17]Н.И. Кленкова, *Структура и реакционная способность целлюлозы*, Наука, Ленинград (1976).

[18]Q. Li, S. Renneckar, *Biomacromolecules*, **V.12** (2011) 650.

[19] С.С. Воюцкий, *Курс коллоидной химии*, Химия, Москва (1975).

НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ОРГАНИЗАЦИИ ОБНОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

С. В. Венедиктов[1], З. А. Андреева[2], А. А. Богомолов[3], Ю. Ю. Егошин[4]

[1]ЧПИ(ф) МГОУ им. В. С. Черномырдина
[2]ООО «Проектный центр «Энерго-Ч»
[3] ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»
[4]Семеновские РЭС

Представлен механизм процесса обновления оборудования электрических сетей от шестого уровня электроснабжения и выше на основе инновационного продукта.

The mechanism of the process equipment upgrade power grids on the sixth level of power and up on the basis of an innovative product.

Введение. В каждом регионе функционирует ряд энергетических компаний, занимающихся передачей и распределением электрической энергии. При значительной степени износа основного оборудования, компании сталкиваются с трудностями по его обновлению вследствие разнесения ответственности по сбору денег за электроэнергию и техническим сопровождением системы электроснабжения между различными организациями, низкой балансовой стоимостью оборудования и как следствие нехваткой амортизационных отчислений на техническое перевооружение. В свою очередь потребители, при увеличении тарифов, не видят предпосылок по увеличению показателей надежности электроснабжения. В постперестроечные годы общей, объединяющей большинство населения идеи не выработано. Наоборот возникла ситуация, связанная с приватизацией собственности, приведшая к большому расслоению населения. В настоящее время по данным различных источников порядка 90% людей не принимают легитимность результатов приватизации. Разрешить данную проблему на уровне идеи, моделей, алгоритмов и проекта технической реализации может общая для всего населения и государства в целом задача по обновлению основного оборудования электрических сетей, изношенная на 65-75%. Необходимым исходным условием для решения задачи является изменение психологии граждан от полного неприятия результатов приватизации, до ее сторонников. Изменению психологии потребителей электроэнергии способствует рассматриваемый далее инновационный продукт.

В настоящее время вопросам инновационного развития уделяется пристальное внимание. Различными научными фондами выделяется финансирование на создание, обладающих новыми качествами, продуктов, изделий и технологий. Однако для лидерства России в глобальном мире инновационных продуктов отдельных компаний явно недостаточно. Необходимо создать новый кластер людей, априори обладающих инновационным мышлением, способных на его основе успешно, поступательно и целенаправленно продвигаться к новому качеству жизни.

Определим основные требования к задаче создания такого кластера:

1.Общая идея, затрагивающая большинство населения.

2.Понятные правила с мотивацией каждого индивида.

3. Конечная, достижимая в разумные сроки цель.

4.Чувство сопричастности каждого к общему делу.

5.Управляемость и прозрачность всего процесса.

6.Сплачиваемость и возможность консолидации усилий.

Почему энергетика (электроэнергетика) может служить объединяющим началом, основой для формирования инновационного мышления? Это связано с тем, что электрической

энергией пользуется подавляющее большинство населения России, поэтому идея обновления энергетики будет затрагивать каждого жителя страны.

В настоящее время как факт можно констатировать следующее:

1. Потребителями электрической энергии в стране является 100% населения.

2. Активы региональных энергетических компаний до 70% и более принадлежат частным лицам, в значительной степени, полученные через залоговые аукционы.

3. Износ основного оборудования электрических сетей достигает 75%.

4. Реструктуризация РАО ЕЭС России не привела к созданию конкурентного рынка электрической и тепловой энергии на региональном уровне, где также остались естественные региональные монополисты и населению не совсем понятно по какой причине тарифы постоянно растут, а видимого обновления в энергетике не происходит.

Кардинальное изменение ситуации с износом оборудования, достижение легитимности результатов приватизации возможно через механизм обновления основного оборудования электрических сетей с использованием понятия «элементарная решающая акция» (ЭРА) [1,2], предварительно зафиксировав пакеты акций их владельцев по факту – как есть.

Определение. «Элементарная решающая акция» (ЭРА) – это доля в одном кВт*ч электроэнергии или в одной калории тепловой энергии в стоимостном выражении, принадлежащая потребителю и направляемая на обновление оборудования энергетической компании и его развитие. Стоимость ЭРА определяется исходя из предпосылки, что цену 1 калории можно привести к цене 1кВт*ч электроэнергии. Далее цену 1 кВт*ч можно разложить на следующие составляющие:

$$Ц = C + П + H, \quad (1)$$

где $Ц$ – цена 1 кВт*ч электроэнергии, установленная для оплаты потребителю. В данном случае значение цены принимается как средняя величина, как для промышленных, так и бытовых потребителей.

C – себестоимость 1 кВт*ч электроэнергии, руб.

$П$ – прибыль энергоснабжающей организации, руб.,

H – Величина взимаемого с 1кВт*ч налога, руб.

Известно, что в цене на электрическую энергию заложены себестоимость, прибыль нормативная и сверхнормативная и налоги. В части сверхнормативной прибыли и налогов предлагается выделить ЭРА, которая принадлежит потребителю, преобразовать ее в инвестиционную составляющую и направить на обновление основного оборудования электрических сетей.

$$|1ЭРА| = П_2 + H, \quad (2)$$

где $П_2$ – величина сверхприбыли, руб.

Время замены изношенного оборудования можно оценить по следующей формуле:

$$\tau_{зам} = (\sum_{i=1}^{n} c_{iно} + \sum_{i=1}^{n} c_{iэмр} * \sum_{i=1}^{n} \tau_i) / \sum_{i=1}^{m} эра_i, \quad (3)$$

где: $C_{iно}$ – стоимость i-го образца нового оборудования, руб;

$c_{iэмр}$ – стоимость электромонтажных работ i-го образца на объекте, в которую входит и стоимость работ по перевозке, руб;

τ_i – норма времени на электромонтажные работы i-го образца, час;

$эра_i$ – сумма, накопленная за расчетный месяц посредством ЭРА, руб;

m – количество расчетных месяцев.

Количество ЭРА за расчетный месяц ЭРА определяется по формуле:

$$\left|эра_i\right| = \left|1ЭРА\right| * \sum_{i=1}^{k} p_i \qquad (4)$$

где: p_i – мощность, потребленная i-м потребителем за расчетный месяц.

k – количество потребителей.

Опираясь на ЭРА алгоритм дальнейшей капитализации энергетики можно рассматривать в следующем виде:

1. Определить величину ЭРА.

Технический (расчетный) учет ЭРА производить по счетчикам отделов сбыта.

2. Зафиксировать результаты приватизации в энергетическом секторе.

3. Построить математические модели, в которых отразить:

а) Соотношение акций ОАО, ГУП, МУП и элементарного акционерного общества (ЭАО);

б) План – графики замены электрооборудования по времени, электросетевым районам, уровням электроснабжения, критериям изношенности, технической надежности, экономической эффективности и т.д.

4. Определить исполнительный орган данной территории в введении которого будет находиться пакет ЭРА.

5. Переоснащение основных фондов проводить в направлении от шестого уровня электроснабжения (потребитель) к первому уровню (генерация). Проведенные технические расчеты по обновлению для среднестатистического электросетевого района показали, что только за счет инвестиционной составляющей в разумные сроки (9,5–12 лет) можно завершить полное переоснащение всего парка функционирующего оборудования [3].

Развитие региональной энергетики по данному алгоритму позволит:

1. Достичь полной капитализации ОАО, ГУП, МУП посредством приватизации с использованием ЭРА и их поглощением единым для данной административной территории ЭАО.

2. Обновить парк электрооборудования в необходимые сроки.

3. Обеспечить полный государственный контроль над региональной энергетической компанией.

4. Сделать собственниками все население данной территории, например отдельной области или Республики. При этом количество ЭРА у собственника напрямую зависит от показаний индивидуальных счетчиков электроэнергии.

Вывод. Инновационным продуктом является ЭРА, направляемый на обновление основного оборудования электрических сетей, который через изменение отношения к собственности позволит преобразовать психологию потребителя энергии от неприятия результатов приватизации до одного из совладельцев акций энергетики, позволяющий за 10-15 лет создать цивилизованный рынок, принимаемый и понимаемый всеми гражданами страны.

Список литературы

[1] Венедиктов С.В., Егошин Ю.Ю., Захарова З.А., Капитонов А.А. Алгоритм достижения легитимности результатов приватизации в области энергетики // Вестник МарГУ №1, 2007.

[2] Венедиктов С.В., Егошин Ю.Ю., Захарова З.А., Капитонов А.А. Способ реформирования региональных энергетических компаний Матер. Докл. Межд. Науч. техн. Конф. «Энерг. - 2008: иннов. Решен. перспект. В 5 кн. Кн.5 КГЭУ, Казань 2008.

[3] Венедиктов С.В., Егошин Ю.Ю., Захарова З.А., Капитонов А.А. Время замены оборудования электросетевого района в зависимости от стоимости элементарной решающей акции.// Проблемы энергетики Известия ВУЗов. № 3-4. 2010 г.

[4] Венедиктов С.В., Андреева З.А., Богомолов А.А, Богомолов А.В. Способ формирования инновационного мышления / Сб. тр. науч.-практ. конф. иннов. в образ. проц. – Чебоксары: ЧПИ МГОУ, 2012. – С. 73-75.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Е. В. Константинов, В. Ф. Перистый

424000, г. Йошкар-Ола
E-mail: yamonax@mail.ru

The problem is that the vast majority household electrical ignitions occur because of thermal action of an electric discharge. But, unfortunately, people don't pay attention to it. In protocols of fire inspectors it is possible to notice such reasons of fires as short circuit, violation of the rules of installation of electrical wiring, etc., but the real reasons are absent. Behind these reasons very often hides real source of fires – an electric arc (spark).

1. Введение. Процент пожаров по причине электровозгораний в нашей стране довольно значителен. Если бы можно было сократить число электровозгораний, то это бы значительно уменьшило количество жертв и снизило материальный ущерб. На данный момент не решена проблема электродуговой защиты, хотя большинство пожаров происходит именно из-за электрической дуги. В отчетах пожарных экспертов мы можем заметить такие причины электровозгораний, как короткое замыкание, нарушение правил монтажа электропроводки, но это не все причины. Очень часто основные причины ускользают от внимания пожарных инспекторов, не находят отражения в статистике. Следовательно, отсутствуют приборы для защиты от искры.

2. Исследования. Для создания устройства защиты от искрения были проведены исследования широкополосного излучения дуги при различных условиях, а также условий возникновения электрической дуги. Дуговой процесс сопровождается генерацией широчайшего спектра электромагнитных колебаний [1]. Он простирается от постоянного тока, захватывая даже ультрафиолетовую область оптического диапазона [2]. Оптическая составляющая дуги не рассматривается, так как детектирование разряда при помощи фотоэлементов имеет крайне ограниченный радиус эффективности, хотя существуют приборы, работающие на этом принципе. Они устанавливаются в силовых электрических сетях, транспортирующих большие токи и напряжения («NOLA», «ОВОД-МД»). Проанализируем электромагнитную составляющую дуги радиодиапазона. Известны два пути распространения таких сигналов: по проводникам электрической цепи и через эфирную среду. Эфирный путь для регистрации дуги не приемлем из-за помех, создаваемых современной средой жизнедеятельности человека. Остается проводной метод регистрации «сигнала» дуги. Условимся в границах данной работы называть этот «сигнал» дуговой помехой. Как известно, спектр электрической дуги очень широк, но необходимо заметить, что реальная линия имеет распределенные по длине параметры, и наблюдаемая широкополосная дуговая помеха будет подвержена фильтрации ее гармоник. Параметры линии являются определяющими. Процесс передачи слабых сигналов и расчет параметров линии связи хорошо изучен и освещен в теории проводной связи [3], но для дуговой помехи, распространяющейся по электросиловой цепи, данных нет. Поэтому необходимы специальные эксперименты. В рамках исследования было создано приспособление, генерирующее устойчивую во времени электрическую дугу. Стояла задача получить не просто дуговой промежуток (что не сложно), а дугу между двумя проводниками, имитирующими некачественную скрутку (плохой контакт) в бытовой электропроводке. Экспериментальная электрическая цепь содержит электролампу накаливания мощностью 150 Вт, искровой промежуток, конденсатор 630В, коротковолновой радиоприемник и головные телефоны. Для устранения помех, как от сети, так и в сеть, установлен высокоэффективный фильтр низких частот [4]. Для защиты оператора-наблюдателя от поражения фазным напряжением и безопасного проведения эксперимента применена гальваническая развязка через развязывающий трансформатор с коэффициентом трансформации 1:1. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

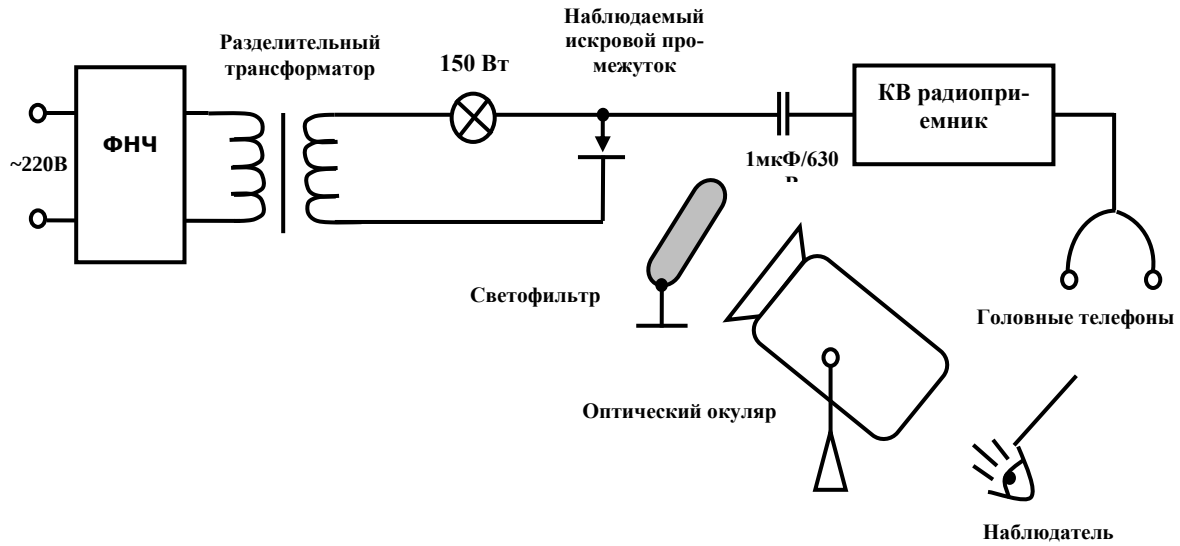


Рис. 1. Схема эксперимента

Зона дуги располагалась в углублении толстой фанеры. Оно было заполнено углеродом, полученным в результате сгорания древесины. Максимально возможный ток ограничен на уровне 680 мА лампой накаливания. Через установленный на штативе оптический окуляр и плотный светофильтр велось визуальное наблюдение за процессом развития дуги.

Возникновение маленьких искрящих зон являлось началом отсчета времени с помощью секундомера. Процесс заканчивался появлением дугового разряда, возгоранием фанеры и остановкой секундомера. Помимо этого велся слуховой контроль, для чего использовался коротковолновой радиовещательный приемник с детектором амплитудной модуляции, связанный с исследуемой цепью через развязывающий конденсатор. Выход радиоприемника подключался к головным телефонам оператора-исследователя. Начало пробоев сопровождается короткими, слабыми щелчками. Появление таких щелчков сигнализирует о начале развития искрового разряда. Такое явление наблюдается при повреждении изоляции, попадании влаги, токопроводящей пыли. Громкий непрерывный треск в головных телефонах и возгорание фанеры через несколько секунд указывают на окончание времени развития искры и переход в дуговой разряд. Общее время (от начала коротких пробоев до возникновения электрической дуги) составило от 9 до 30 секунд. Эти числа были получены после проведения 20 опытов и нахождения среднего значения времени установления устойчивого дугового разряда. На это время будет проектироваться и настраиваться система задержки на отключение всей силовой электрической цепи.

В ходе экспериментов также было установлено, что интенсивность во времени дугового процесса определяется тремя факторами:

1. Током в цепи
2. Свойствами среды, контактирующей с дуговым промежутком
3. Свойствами материала контактов в дуговой зоне (железо, алюминий медь).

Для установления времени возникновения дугового разряда было проведено 27 экспериментальных зажиганий дуги в сухих условиях (металл Al, Fe, Cu, мощность 60W, 150W, 500W) и 27 зажиганий во влажных условиях (имитация дождливой погоды, попадания влаги). Для имитации попадания дождевых осадков и влаги на контакты, в исследуемую зону подавалась вода редкими каплями (1 капля в 5 минут). Материал изолирующей среды содержал 3 компонента, широко применяемых в бытовой электроарматуре: полистирол (легко горюч), полихлорвинил (горюч), карболит (не горюч, но при сильном нагреве выделяет горючий газ). Средние результаты времени возникновения дуги в сухих и влажных условиях приведены на рис. 2 и 3.

Таблица 1

Результаты измерения времени (в секундах)

№ опыта	Сухие условия									Влажные условия								
	Fe			Al			Cu			Fe			Al			Cu		
	60W	150W	500W	60W	150W	500W	60W	150W	500W	60W	150W	500W	60W	150W	500W	60W	150W	500W
	Время, необходимое для возникновения дугового разряда (в секундах)																	
1	18	16	10	24	20	18	27	26	25	17	14	9	19	16	12	22	17	10
2	17	15	9	28	22	17	30	28	18	16	15	10	21	20	15	–	24	15
3	21	18	11	19	21	13	–	26	12	20	18	10	23	16	16	30	25	13

Примечание: прочерк в таблице означает, что при данных условиях дуга не возникала

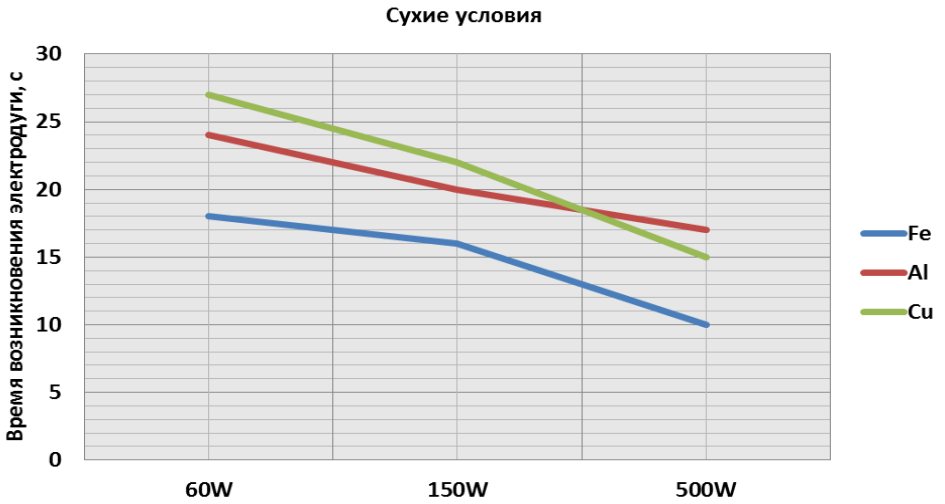


Рис. 2. Возникновение разряда в сухих условиях

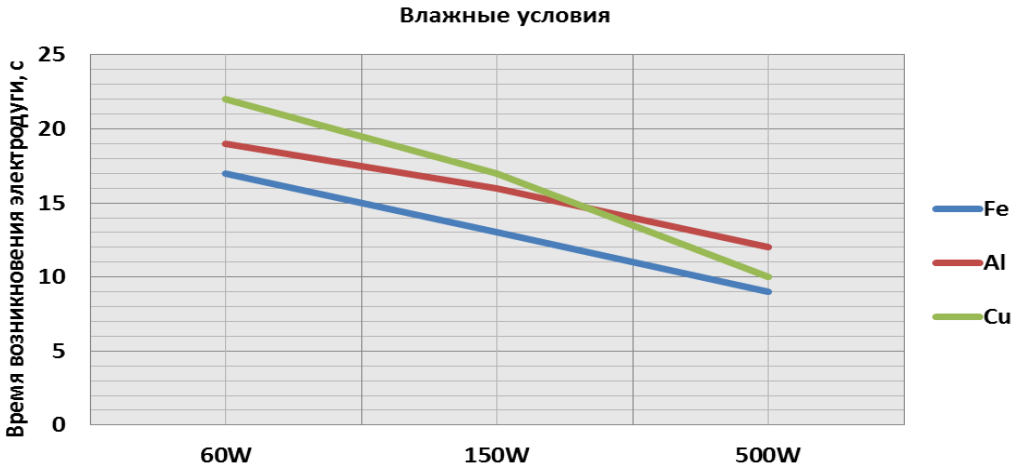


Рис. 3. Возникновение разряда во влажных условиях

Из анализа даннх, представленных на рис. 2, 3 следует вывод, что время возникновения дугового разряда сильно зависит от потребляемой мощности из сети, а также от влажности в местах контактов. Быстрее всего дуга возникает в контактах, сделанных из железа. Самые лучшие показатели у меди, алюминий занимает промежуточное положение.

Полученные данные, при проведении дополнительных исследований, позволят создать прибор для регистрации неисправности в проводке.

Список литературы

[1] Э.М. Базелян, Ю.П.Райзер, *Искровой разряд*, Москва МФТИ (1997).
[2] Ю.П. Райзер, *Физика газового разряда*, Москва, «Наука» (1992).
[3] П.А. Попов, *Теория связи по проводам*, Москва, «Связь» (1978).
[4] Г. Ханзел, Справочник по расчету фильтров, «Советское радио» (1974).

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ И КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А. Б. Лычко

Филиал «Мариэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья»
A.Lychko@mail.ru

Described the especially of telemechanical systems for monitoring and remote management of electric object. Presented by the structure of telemetry systems. Analyzed experience in the use of communication systems for data telemetry.

1. Введение. Средства телемеханики в энергетике предназначены для выполнения удалённых измерений, сбора информации о состоянии энергетического оборудования и последующего предоставления полученных данных оперативному диспетчеру, а также для управления удаленными объектами. В соответствии с нормативными документами диспетчерские пункты всех уровней управления должны быть оснащены автоматизированными системами диспетчерского управления (АСДУ) [1], в состав которых входят средства телемеханики.

В филиале «Мариэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья» с помощью средств телемеханики данные о состоянии оборудования удаленных электрических подстанций 110 и 35 кВ собираются в едином диспетчерском центре – ЦУС (центр управления сетями). Дежурный диспетчер ЦУС филиала «Мариэнерго», наблюдая за параметрами всех управляемых подстанций на большом диспетчерском щите в режиме реального времени, получает наглядное и удобное представление о работе энергосистемы в целом. Используя средства телеуправления, диспетчер может управлять состоянием энергетического оборудования на удаленных электрических подстанциях.

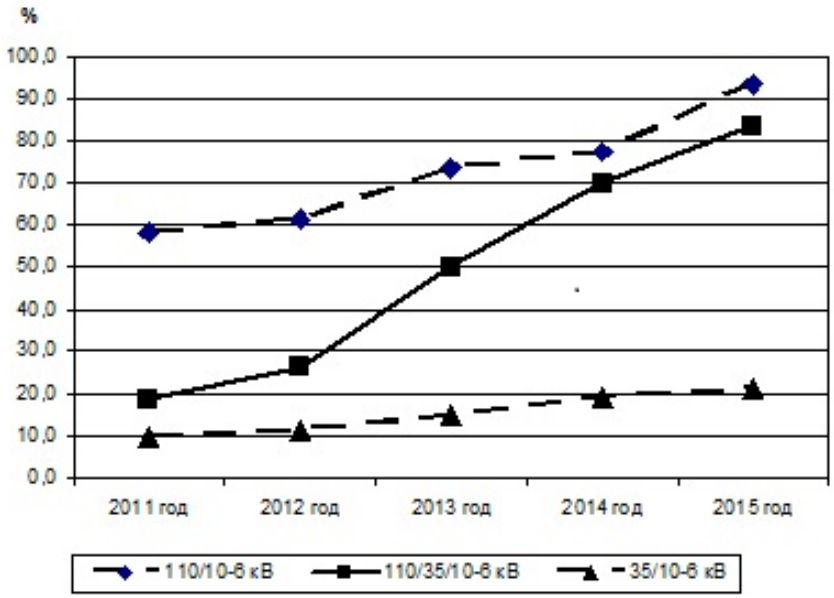


Рис. 1. Плановый рост долей телемеханизированных ПС по классам напряжений.

Ежегодно планируется модернизация подстанций (ПС) и внедрение на них современных систем телемеханики. На рис. 1. представлен плановый рост долей телемеханизированных ПС по классам напряжений.

2. Составные части средств телемеханики. Средства телемеханики в энергетике условно можно разделить на три составные части:

1. Средства сбора данных.
2. Контроллер телемеханики.
3. Средства передачи полученных данных.

Для сбора данных обычно используют либо датчики телеметрии (с возможностью работы в телеметрических системах, то есть со специальным встроенным модулем связи), либо устройства связи с объектом, к которым подключаются обычные датчики. В телемеханике применяются разнообразные датчики, тип которых определяется измеряемой средой.

Основные виды контроля измеряемых параметров – телеизмерения (ТИ):

1. Напряжение.
2. Ток.
3. Активная и реактивная мощность.
4. Температура.

Основные виды контроля и управления коммутационными устройствами – телесигналы (ТС) и сигналы телеуправления (ТУ):

1. Положение (включено/выключено/неопределенно).
2. Включение/выключение.

Для получения телеизмерений, как правило, используются специализированные измерительные преобразователи, аналоговые или цифровые. В современных системах телемеханики в филиале «Мариэнерго» преимущественно используются многофункциональные цифровые измерительные преобразователи (МЦИП). Применяя МЦИП, можно получить значительное количество параметров, характеризующих состояние оборудования. Эти параметры представляются и передаются в цифровом виде. Современные МЦИП могут производить измерения нескольких десятков различных параметров, которые полноценно и разносторонне описывают состояние контролируемого оборудования. Анализируя эти данные, диспетчер не только определяет текущее состояние оборудования, но и может сделать вывод о работе оборудования в будущем. Опыт использования современных многофункциональных цифровых измерительных преобразователей показал, что надежно работают такие преобразователи, как ЭНИП, АЕТ. Контролируемый пункт (КП) и центральная приемо-передающая станция (ЦППС) являются основными элементами в системе телемеханики. С помощью КП информация от измерительных преобразователей соответствующим образом интерпретируется, упаковывается и передается с использованием коммуникационных систем в определенном формате (протоколе) в ЦППС. Здесь данные расшифровываются и передаются в оперативный управляющий информационный комплекс (ОУИК) – программно-аппаратный комплекс, позволяющий наглядно представить информацию о состоянии энергетических объектов с использованием средств коллективного отображения информации – видеокубов, видеостен, диспетчерских щитов и так далее.

Для передачи данных с КП, который расположен на электрической подстанции, в ЦППС, которая расположена на диспетчерском пункте, используются различные коммуникационные системы. Информация может передаваться с помощью специализированных средств связи, а также средств массовой коммуникации, таких как телефонные или компьютерные сети. В качестве среды передачи данных могут использоваться как проводные сети (электрические, кабельные, волоконно-оптические), так и беспроводные (радиосвязь, радиорелейная, спутниковая связь, GSM/GPRS, WiFi). При использовании магистральных каналов связи возникает проблема решения последней мили каналов. Данная проблема решается с помощью создания собственных каналов связи или аренды каналов связи у операторов связи. До сих пор для передачи телеметрической информации широко используются ВЧ-каналы связи, организованные по проводам высоковольтных линий электропередачи [2]. Анализ показывает, что при любом способе передачи данных – с использованием специализированных

каналов и каналов общего пользования, для уменьшения затрат при передаче информации следует использовать совмещенные каналы связи.

3. Особенности и проблемы при применении телемеханических систем в энергетике. Как показывает практика, самым слабым звеном в телемеханике является коммуникационная система. При полном или частичном выходе ее из строя данные о состоянии энергетических объектов продолжают собираться на КП, но передачи на диспетчерский пункт не происходит, либо информация доходит частично. Поэтому требуется определить наиболее эффективные способы восстановления информации при частичной и полной потере каналов связи.

При полной потере каналов связи предлагаются следующие решения:

1. Автоматический переход на резервный канал (реализован избыточным оборудованием и/или программными средствами с использованием специализированного оборудования).

2. Хранение информации в КП до восстановления канала. Если после восстановления канала связи нет возможности передать на диспетчерский пункт потерянную информацию, восстановить данные можно путем считывания на внешний носитель при приезде обслуживающего персонала на объект.

При частичной потере каналов связи предлагаются следующие решения:

1. Передача информации порциями в момент устойчивой связи.

2. Передача информации в условиях ограничения передающей способности каналов связи с использованием ранжирования сигналов. При этом более важные сигналы передаются в первую очередь, а менее важные – только в случае, когда переданы все более важные.

Коммуникационная система может быть построена с использованием собственных специализированных каналов или аренды каналов общего пользования. Каналы с использованием собственных средств передачи, как правило, обладают меньшей мощностью и требуют значительных затрат на обслуживание. Арендованные каналы более выгодны в эксплуатации, однако оператор связи в некоторых случаях не может восстановить канал после потери связи настолько быстро, как требуется в энергетике. Поэтому используется комбинированный подход: наиболее важные диспетчерские каналы связи организованы на собственном оборудовании, менее важные – путем аренды.

Существуют некоторые особенности применения телемеханических систем для контроля состояния и управления удаленными объектами электроэнергетики:

1. Управление объектами большой энергетической мощности (для оборудования требуется защита от перенапряжений).

2. Удаленное расположение от центров управления.

3. Высокие требования к надежности и достоверности.

4. Совокупность и взаимосвязь дискретных и непрерывных параметров контроля.

5. Технологические ограничения, определенные отраслевыми нормативами и т.д.

Некоторые проблемы, связанные с телемеханикой в энергетике, не решены до сих пор. Например, не решена проблема надежности в аварийных режимах, когда происходит потеря питания собственных нужд подстанций. Использование бесперебойных источников питания не всегда приводит к требуемому результату. Длительный перерыв в питании оборудования телемеханики и каналообразующей аппаратуры приводит к потере каналов связи и не позволяет диспетчеру оперативно управлять работой оборудования.

Другая проблема состоит в том, что не существует недорогих и надежных способов передачи данных без использования проводных технологий. Наиболее эффективным и надежным средством передачи данных в настоящий момент является волоконно-оптическая связь. Однако строительство ВОЛС до удаленных электрических подстанций и последующее обслуживание требует значительных средств. В качестве резервных каналов связи на удаленных объектах удобно использовать спутниковую связь. Но эти каналы имеют свои недостатки, среди которых следует указать возможность неустойчивой связи в неблагоприятных ме-

теорологических условиях, а также пропадание канала при корректировке орбиты спутника и проведении других регламентных работ.

Таким образом, несмотря на применение самых современных технологий при использовании средств телемеханики и коммуникационных систем, остаются задачи, направленные на дальнейшее повышение надежности работы энергетических комплексов за счет развития и усовершенствования систем дистанционного управления.

Список литературы

[1] *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации*, НЦ ЭНАС, Москва (2006).
[2] Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С., *Высокочастотная связь по линиям электропередачи*, Энергоатомиздат, Москва (1987).

ИССЛЕДОВАНИЕ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ДИНАМИКИ СЛАБЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ 1,2-ДИХЛОРЭТАНА В СТЕКЛУЮЩЕЙСЯ МАТРИЦЕ

А. И. Носков, А. И. Фишман, Р. М. Аминова

Казанский федеральный университет, Институт физики,
420008, Казань, ул. Кремлевская 18
e-mail: aif@ksu.ru

Исследованы колебательные спектры растворов 1,2-дихлорэтана в стеклующейся матрице (парафиновое масло) в широком интервале температур, в том числе и ниже температуры стеклования. Обнаружено, что при концентрациях более 0,07 об. дол. наблюдаются признаки комплексообразования. Анализ экспериментальных данных с привлечением квантово-химических расчетов позволил установить, что в растворе транс- и гош-конформации 1,2-дихлорэтана образуют димеры. Определена энергия образования комплекса.
FTIR spectra of 1,2-dichloroethane (DCE) solution in the glassy matrix (paraffin oil) in a wide range of temperatures, including glass transition temperature, are investigated. The complexes of DCE arise at concentrations more than 7 vol. %. Ab initio calculations show that the trans- and gauche-conformations DCE form dimers. The structure and energy of dimers have been determined.

Ключевые слова: 1,2-дихлорэтан, конформационный анализ, стеклующаяся матрица, конформационный зонд

1. Введение. Интерес к изучению молекулярных комплексов связан с тем, что межмолекулярные взаимодействия играют исключительно важную роль в понимании кинетики химических реакций, процессов растворения и адсорбции, эффектов самоорганизации молекул и образования супрамолекулярных систем с необычными физико-химическими свойствами. Поэтому исследование явлений, обусловленных слабыми внутри- и межмолекулярными взаимодействиями, представляет собой одну из актуальных задач современной химической и молекулярной физики. Инфракрасная спектроскопия поглощения света является эффективным методом изучения строения вещества на молекулярном уровне, позволяя получать информацию о структуре и динамических и физико-химических свойствах молекулярных систем. В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований методом ИК-Фурье спектроскопии молекулярных кластеров 1,2-дихлорэтана в стеклующемся растворителе в широком интервале температур и концентраций. Экспериментальные данные интерпретированы с привлечением квантово-химических расчетов электронной и пространственной структуры и энергии молекулярных кластеров.

2. Экспериментальная часть и квантово-химические расчеты. В качестве стеклующейся матрицы использовалось парафиновое масло (ПМ). Раствор с заданной концентрацией 1,2-дихлорэтана (ДХЭ) тщательно перемешивался в течение 5 минут и помещался в кювету фиксированной толщины (50 мкм), приспособленную для низкотемпературных исследований.

Регистрация ИК-фурье спектров поглощения проводилась на спектрометре «Tenzor-27» фирмы «Bruker». Спектральное разрешение составляло 1 $см^{-1}$, число сканов – 32. Низкотемпературные исследования выполнялись в стандартном криостате в диапазоне температур 100-300 К. Криостат охлаждался с помощью жидкого азота, средняя скорость охлаждения составляла 0.5-1 К/мин. Температура регистрировалась с помощью платинового термометра. Точность поддержания температуры образца составляла ±1 К. В случае сильно перекрывающихся полос они разделялись на отдельные спектральные компоненты с помощью пакета прикладных программ PeakFit. Форма полос задавалась суммой контуров Лоренца и Гаусса.

Квантово-химические расчеты проводились с использованием программы *Gaussian 98* [1]. Оптимизация геометрических параметров всех молекулярных структур, проводилась с использованием трехпараметрического обменно-корреляционного функционала B3LYP [2] и базисных наборов 6-31G(d,p) и 6-311++G(d,p), а также функционала PBE и базиса (3z). Включение поляризационных *p*- и *d*-орбиталей в базисный набор обусловлено наличием в системе атомов водорода и атомов хлора, способных к образованию слабых нековалентных комплексов. Для подтверждения того, что структуры являются минимумами на поверхности потенциальной энергии, и для определения энергии нулевых колебаний, на том же теоретическом уровне были проведены расчеты колебательных частот.

Значения стандартных энтальпий образования и свободных энергий Гиббса в газовой фазе (T=298,15 К, p=1 атм) рассчитаны с учетом энергии нулевых колебаний, а также соответствующих термических поправок к электронной энергии.

3. Результаты и обсуждение. При концентрациях ДХЭ в ПМ 0,07 об. дол. и выше ряд колебательных полос транс- и гош-конформаций ДХЭ (1230 $см^{-1}$ (транс-), 661 $см^{-1}$ (гош-), 685 $см^{-1}$ (гош-)) становятся ассиметричными (рис.1). При повышении концентрации раствора асимметрия полос значительно увеличивается, вплоть до расщепления некоторых из них. Такие изменения спектров являются характерным признаком возникновения в растворах межмолекулярных связей.

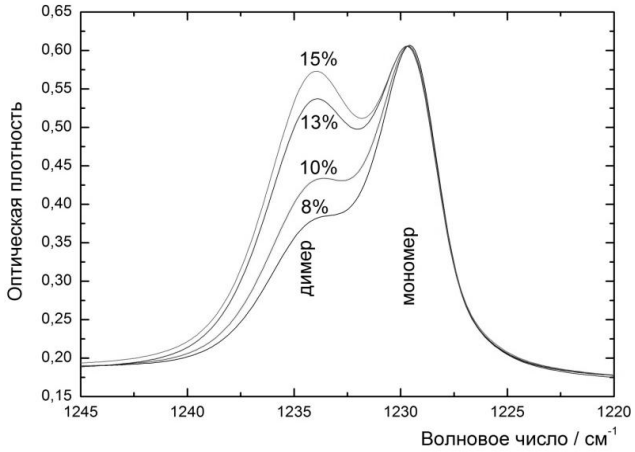


Рис. 1. Фрагменты ИК спектров ДХЭ в ПМ при различных концентрациях (указаны об.дол. в %) в области поглощения транс-конформации. Спектры нормированы на максимум полосы 1230 $см^{-1}$.

При вариации температуры растворов в интервале от -51 до -75^{0}С наблюдаются существенные перераспределения интенсивностей полос поглощения мономеров и димеров: полосы мономеров уменьшаются, а полосы поглощения димеров – увеличиваются (рис. 2). Это связано с тем, что равновесие димер-мономер при понижении температуры сдвигается в сторону димеров. В ИК спектрах как в области полос транс-конформеров ДХЭ, так и в области полос гош-конформеров наблюдаются изобестические точки (например, при частоте 1233 $см^{-1}$ на рис. 2 слева). Их наличие служит доказательством существования двухкомпонентного равновесия. Причем существование этой точки у полос, принадлежащих разным конформерам, позволяет сделать вывод, что димер образуется транс- и гош-конформерами ДХЭ. Энтальпия комплексообразования может быть определена по стандартной методике (см., например, [3]). Отметим, что динамика комплексо-

образования происходит в узком интервале температур (около 25^0). На рис.3 приведена зависимость $ln\left(\frac{D_{1234}}{D_{1230}^2 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)}\right)$ от 1/T.

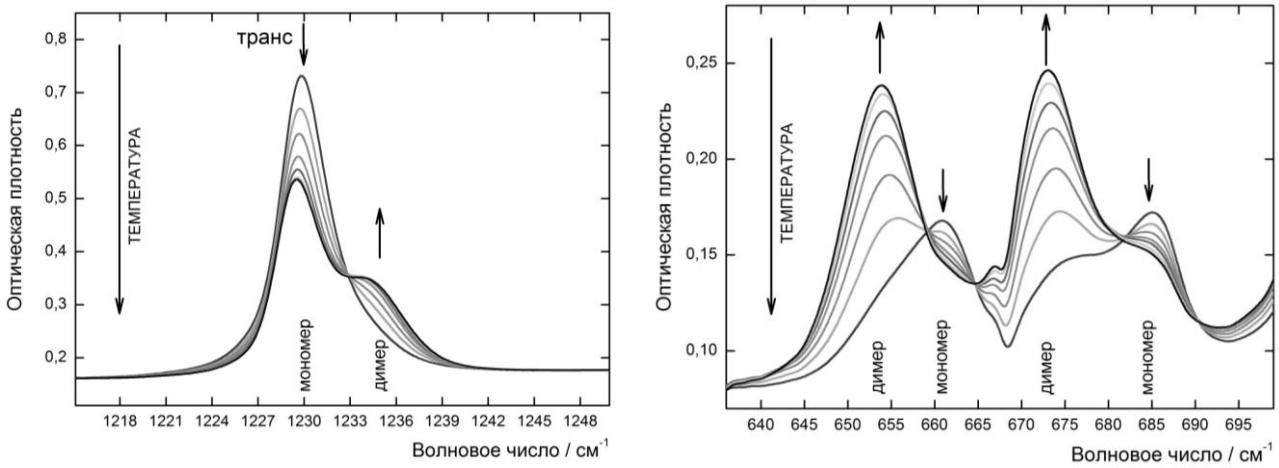


Рис. 2. Фрагменты ИК спектров раствора ДХЭ в ПМ (С=0,08 об.дол.)

На этой зависимости можно выделить две ветви: высокотемпературную (от -51 до -75^0C) и низкотемпературную (ниже -75^0C, вплоть до азотных температур). Возникновение этих ветвей связано со стеклованием ПМ [4]: при температуре стеклования динамическое равновесие мономер-димер «замораживается». По наклону высокотемпературной ветви можно определить энтальпию комплексообразования. Она составила 3,8 ккал/моль. Нами выполнены квантово-химические расчеты энергий и частот транс- и гош-конформаций, а также образованных из них димеров со структурой транс-транс, транс-гош и гош-гош. Энергия связи комплекса рассчитывалась как разность между энергией комплекса E_{AB} и энергиями компонентов комплекса E_A и E_B ($\Delta E_{AB} = E_{AB} - E_A - E_B$). При этом учитывалась также суперпозиционная ошибка базисного набора (BSSE). Комплекс со структурой транс-гош оказался энергетически более выгодным и имеет энергию связи 1,5 ккал/моль. Эта величина находится в качественном согласии с полученными в эксперименте результатами.

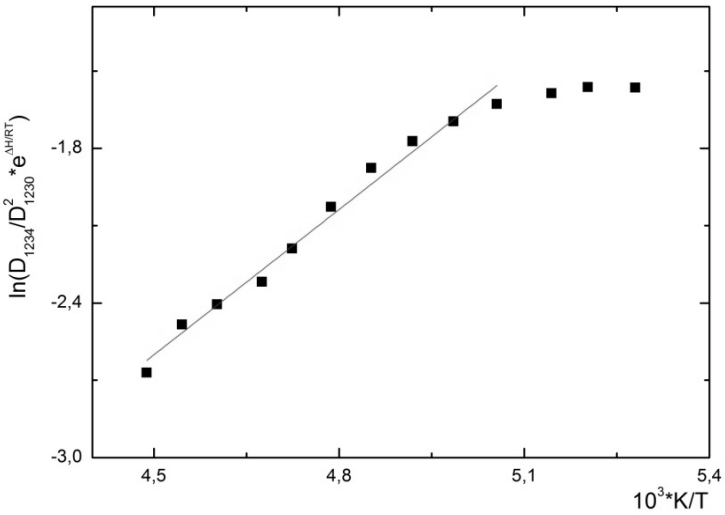


Рис. 3. Зависимость $\ln\left(\frac{D_D}{D_t^2 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)}\right)$ от обратной температуры. В качестве аналитических выбраны полосы поглощения транс-конформации: 1230 $см^{-1}$ (мономер) и 1234 $см^{-1}$ (димер).

Список литературы

[1]. M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, V. G. Zakrzewski, J. A. Montgomery, Jr. R. E. Stratmann, J. C. Burant, S. Dapprich, J. M. Millam, A. D. Daniels, K. N. Kudin, M. C. Strain, O. Farkas, J. Tomasi, V. Barone, M. Cossi, R. Cammi, B. Mennucci, C. Pomelli, C. Adamo, S. Clifford, J. Ochterski, G. A. Petersson, P. Y. Ayala, Q. Cui, K. Morokuma, D. K. Malick, A. D. Rabuck, K. Raghavachari, J. B. Foresman, J. Cioslowski, J. V. Ortiz, A. G. Baboul, B. B. Stefanov, G. Liu, A. Liashenko, P. Piskorz, I. Komaromi, R. Gomperts, R. L. Martin, D. J. Fox, T. Keith, M. A. Al-Laham, M. A. Peng, A. Nanayakkara, C. Gonza-

lez, C. Challacombe, P. M. W. Gill, B. Johnson, W. Chen, M. W. Wong, J. L. Andres, M. Head-Gordon, E. S. Replogle, and J. A. Pople, *Gaussian Inc*, Pittsburgh PA (1998).
[2]. A.D. Becke, *J.Chem.Phys.* **98** (1993) 5652.
[3]. G.P. Everaert, W.A. Herrebout, B.J. van der Veken, *J.of mol struct*. **550-551** (2000) 411.
[4]. A.I. Fishman, A.I. Noskov, A.A. Stolov, *Spectrochimica Acta A*. **91** (2012) 191.

О СКАЗКЕ РЕИНКАРНАЦИИ И НАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА

Р. Ф. Полищук

АКЦ ФИАН, Москва

Реинкарнация (в греческой транскрипции – *метемпсихоза,* переодушевление) как концепция – это религиозно-философское учение о переселении душ как сущности живых существ от одних существ (например, от божества или человека) к другим. Возникла эта концепция тысячи лет тому назад как мистическая форма соединения смертности индивида с практически бессмертным человеческим родом. В этой концепции как во всякой сказке есть своя правда, заключающаяся в том, что в каждом индивиде присутствует надындивидуальное родовое начало. Но хотя у каждого индивида своя правда, научная истина для всех одна (при этом мир и истина о мире есть процесс). Дело науки – демистифицировать то, что кажется мистическим, расширять границы естественного так, чтобы находить естественное объяснение тому, что кажется сверхъестественным. При этом научное объяснение как единственно истинное богаче всякой сказки. Но не единой наукой жив человек: прежде всего он просто жив, существует – до всяких представлений о своей живой сущности. И хотя не существует ни одного твёрдо установленного факта реинкарнации, некоторым людям психологически приятно верить в то, что в них переселилась чья-то великая душа. Да и трагическую гибель детей или сожжение ведьм на кострах инквизиции им проще объяснять тем, что в них переселилась недостойная жизни падшая душа. А сожжение заживо инквизиция оправдывала тем, что казнь без пролития крови даёт душе ведьмы или еретика вроде Джордано Бруно (или православного старовера протопопа Аввакума по указу царя Алексея Михайловича «Тишайшего» после раскола в XVII веке русской церкви) шанс на том свете раскаяться и вернуться в лоно святой церкви. Такой вот диапазон применения идей реинкарнации и ей близких идей о бессмертии души – от надежды, что *душа в заветной лире мой прах переживёт,* до прямого преступления (ведь *хоть горшком назови, только в печку не ставь)*. Впрочем, Пушкин больше полагался не на бессмертие души, а на бессмертие его поэзии, сказав: *И ведает мой добрый гений, что предпочёл бы я скорей бессмертию души моей бессмертие моих творений.* А это вещь уже вполне реальная: ведь физическое *бытие* нас, влюблённых в гениальную поэзию Пушкина, есть *инобытие* Пушкина, реально отрицающее его *небытие*.

В чём причина живучести идеи реинкарнации? В том, что становление знания и познание человеком себя неизбежно проходит мифологические стадии, начинаясь с волшебных сказок – это позже приходит понимание того, что *сказка – ложь, да в ней намёк, добрым молодцам урок.* В смутные времена смены мировоззренческой установки активизируются примитивные и устойчивые своей примитивностью структуры первобытного сознания. Например, нарком просвещения А. В. Луначарский считал Ленина Христом-2 (возможно, просто как продолжателя в его понимании миссии Христа). Почему? Потому что политический лидер – не только конкретный индивид, но и символ устремлений определённой части рода, народа и человечества, в котором всегда присутствуют начала и солидарности, и конфронтации как *инварианты истории*.

Что же имеется надындивидуального в индивиде? Атомы, из которых состоит его тело, возникли более десяти миллиардов лет тому назад в недрах сверхновых звёзд. Мы – отдалённые дети звёзд, и это – научный факт. Непосредственно человек рождается в лоне матери в момент зачатия, получая от родителей биологический наследственный код. У родителей были свои родители и прародители – эта цепь уходит вглубь веков эволюции биосферы (и человечества как её ноосферной части) и формирования самой Земли как небесного тела, так что человек – космическое существо, естественно рождённое космосом по закону космоса. Социокультурный наследственный код человек получает в виде родного языка, традиций и системы ценностей, выработанных породившим его родом и народом. Призвание человека – сохранить и приумножить породившую его биологическую и родовую информацию, пропустить через себя и передать полученный им огонь жизни дальше. Всякая информация имеет материальный носитель, и душа человека, и дух человечества – не субстанция, не тонкая материя, но *атрибут субстанции*, форма и закон существования человека и человечества. Неживая материя естественно образует сверхсложные мультистабильные структуры с памятью и механизмами её обновления, превращается в редкую, но структурно устойчивую в эволюции космоса живую материю, мгновение существования которой естественно вписывается в мир как иерархию мгновений, включая космическое мгновение существования нашей Метагалактики. При этом вся физическая и духовная история человечества – единый ветвящийся процесс, нетривиально вписывающийся как *особенное всеобщего природы* в процесс космический. Как здесь быть с вечностью? Понятие вечности существует в диалектической паре с понятием мгновения: человек имеет дело с мгновенным ликом вечности, он живёт во времени по законам того, что выше времени: ведь и само понятие времени имеет предел применимости. Мир есть не мир пространства (античный политеизм неизбежно брал мир в модусе пространства) и не мир времени (христианство и ислам взяли мир в модусе времени, как историю, мистически преодолеваемую *обожением;* при этом буддизм с его океаническим чувством единства субъекта и объекта, с его ложностью членения реальности на Творца и творение, выбрал альтернативную мировоззренческую установку, и истина – в спектре этих мировоззренческих установок и в его глубоком смысловом преображении в процессе познания, превращающего непознанное в познанное), но *мир событий.* Первичность события – не конец, но начало нового развития этого понятия, нового пути познания мира и места человека в мире.

Что же такое сегодня мир и человек в мире? Общепринятой картины здесь ещё нет, так что дадим свою версию. Начнём с того, что мир есть масса-энергия и информация. Информация есть *запомненный выбор,* характеристика сложности структуры определённого фрагмента мировой субстанции (соединение, скажем, таких фрагментов субстанции как камня из вещества и камня из антивещества рождает чудовищный взрыв как освобождение заключённой в них чудовищной массы-энергии). Человек есть полюс сложности Вселенной, смысловая сингулярность космоса. Человек ставит цели, что экономит затраты его усилий. Принцип экстремума действия и, в частности, экономии затрат лежит в основе мировой динамики. Законы динамики и законы сохранения, симметрии имеют равный онтологичесий статус. Динамика нацелена на восстановление симметрии, усиленной её локализацией, зависимостью параметров симметрии от места и времени. Например, брошенный в гладь озера камень рождает волны, которые уносят возбуждение и восстанавливают зеркальную поверхность озера. Фотоны переносят взаимодействие электрических зарядов, которые и создают, скажем, структуру кристаллов и окружающих нас вещей. Гравитоны переносят взаимодействие масс-энергий как гравитационных зарядов (а поскольку они сами чего-то весят, то и притягивают друг друга, если фотоны – это не имеющий электрического заряда свет, то гравитоны – своего рода «светящийся свет», как и глюоны, образующие из кварков протоны и нейтроны ядер всех атомов любого вещества, в том числе вещества наших тел) и рождают астрономическую картину мира как совокупности звёзд и галактик.

Принцип экстремума действия (например, интеграла по времени от разности кинетической и потенциальной энергий – их общая сумма в динамике замкнутой системы сохраняется и хуже отражает эту динамику: ведь важна прежде всего *свободная масса-энергия)* образует смысловой стержень физики как единственной универсальной науки. *Фюсис* есть природа, то есть всякое *что* и *как* оно устроено. При этом различные уровни структурирования единой природы качественно отличны друг от друга, так что, скажем, психология – это не прикладная биология, а антропология -не прикладная *экономофизика*, понимаемая как закон динамики мирового капитала и поведения экономических субъектов (но пора концепцию человеческой истории вставить в более широкий культурный контекст истории космоса как предпосылку сотрудничества достойных людей всего спектра их мировоззренческих установок). Фейнмановский интеграл по путям эволюции физической системы даёт наиболее вероятную эволюцию, наиболее вероятную динамику: мы складываем амплитуды вероятностей всех возможных эволюций и получаем реализацию виртуальной реальности, отвечающую максимальной вероятности. Если мировые линии виртуальных частиц могут идти вдоль не времени, но пространства (имея сверхсветовые скорости с точки зрения итоговой усреднённой метрики), то реализуются только временные и световые направления эволюции. Если смычок скрипичной струны возбуждает хаос звуков, то после их взаимной компенсации выживают только резонансы, имеющие меру нуль. Так рождаются ноты, мелодия - хаос (звуков) рождает космос (порядок). Так разноголосица оппозиционеров в политике рождает итоговое общественное движение.

Сама *жизнь есть приток упорядочения (негэнтропии), обеспечиваемый самокоррекцией наследственного кода (в биосфере – биологического, в социуме – социокультурного) при условии притока свободной энергии* (R. F. Polishchuk, in *Fundamentals of Life,* Elsevier, Paris, 2002, p. 141-151). При этом *совершенное общество – это общество, сознающее своё несовершенство и время от времени его исправляющее, двигаясь от одного (исторического) перекоса к другому* (Григорий Померанц, Несовершенство истории, в *Новой газете* № 20, 24.02.2012).

Наука одна живёт в мире истины, а не в мире мнений, как религии и политика (при голосовании учёных советов указанные миры соприкасаются, создавая *ярмарку тщеславий).* Наука есть *развивающееся понятие,* и из понятия бытия вырастает всё древо познания с развивающейся далее кроной и корневой системой. При этом каждое научное понятие имеет предел применимости, а вся система научных понятий внутренне противоречива, так что развитие науки не может остановиться. Например, про геометрию известно, что *поверхности и линии не существуют в природе, а только в воображении: они предполагают, следовательно, свойство тел, познание которых должно родить в нас понятие о поверхностях и линиях* (Н. А. Лобачевский, Математический энциклопедический словарь, М.: Советская энциклопедия, 1988, с. 718). Квантовая механика отменяет точки, а струнная космология делает эквивалентными бесконечно малые и бесконечно большие интервалы. Собственным временем элементарной частицы (и человека) является длина его (образованной различными событиями) мировой линии в пространстве-времени. Поскольку собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света, исходными образами физики являются образы световые, и все частицы рождаются безмассовыми, то есть с мировой линией нулевой длины: временной и пространственный катеты равны друг другу и друг друга компенсируют (если бы квадрат гипотенузы здесь равнялся не разности, а сумме квадратов временного и пространственного катетов, время не отличалось бы от пространства). Из-за непрерывного взаимодействия с бозоном Хиггса в 4-импульсе частицы (образованного массой-энергией и 3-импульсом) её 3-импульс систематически меняет своё направление на противоположное и в среднем даёт нуль (для некоторого наблюдателя), создавая (из ломаной мировой линии частицы нулевой длины) в среднем ненулевой длины мировую линию с ненулевой массой покоя. Здесь оказываются вторичными понятия покоя (это суперпозиция

световых состояний, стоячая волна), движения (ведь для светового наблюдателя длина его мировой линии равна нулю и равны нулю расстояния до всех предметов впереди и позади, так что 2+2 расщепление пространства-времени предшествует его обычному 1+3 расщеплению на время и пространство, и преодоление нулевого расстояния световым наблюдателем за его нулевое время нельзя считать движением), материи как количества вещества (по Ньютону), скорости (исходное световое состояние – не скорость) и ускорения (как скорости изменения скорости). Даже квантовая логика нашего квантового в его фундаменте мира не дистрибутивна, в отличие от обычной макроскопической булевой, аристотелевой логики. Чем же для светового наблюдателя отличается передняя и задняя картины мира? Тем, что передняя небесная полусфера стягивается а апекс движения с неограниченным доплеровым голубым смещением, а задняя – в антиапекс движения с неограниченным красным смещением, то есть просто исчезает. При отражении, скажем, от уголкового отражателя исчезнувший и имеющийся миры меняются местами. Происходит своего рода «реинкарнация» половинок мира. Вот ещё один своего рода намёк на «правду» идеи реинкарнации как перевозникновения. С точки зрения современной физики мир можно считать перевозникающим с планковской частотой (порядка 10 в степени 43 раз в секунду), что перекликается с древнеиндийскими мифами о космических ритмах (видим же мы мнимое движение в кино на киноэкране, хотя там просто меняются статические кадры, как бы дающие серию «реинкарнаций» видимого мира). Буддизм как мировая религия усилил момент иллюзорности этого мира, а физика работает с понятиями виртуальных частиц как предпосылкой объяснения мира наблюдаемого. Мы видим, как научный разум наполняет интуитивные догадки мифов новым реальным содержанием. Столкновение мифов (строго говоря, и научные понятия типа точек, линий и так далее – своего рода научные мифы в расширенном понимании понятия мифа) с точным (процессивным) знанием, с наукой, опирающейся только на логику и факты, есть столкновение разных познавательных возрастов различных кластеров социума (ведь никого не удивляет сосуществование в одном физическом времени разных биологических возрастов людей и вера детей в волшебные сказки). Можно сказать, что *человек разумный начинается там и тогда, где и когда он с несуществующим начинает действовать, как с существующим, то есть начинается с мифа.* Требуется творческое усилие преодолеть чувство реальности и создать, скажем, несуществующие в природе линии и поверхности, чтобы превратить эмпирическое землемерие в теоретическую геометрию с её строгими теоремами, требуется создать образ Бога как символа Высшего начала, которому концепция космоцентризма с его (в духе Спинозы) идеей самопричинности природы и его дополнением порядка субординации безначальных мировых начал порядком их координации не требует приписывать качества субъектности. Спектральный подход к духовной и физической истории мира и человека позволяет сплачивать людей различных познавательных возрастов и мировоззренческих установок.

Принцип экономии затрат как продолжение физического принципа в истории проявляется и в планировании войн. Например, президент Эйзенхауэр планировал в случае ядерной войны потери населения СССР в размере 193 миллиона человек. В 2000 году цифра уменьшилась на порядок, а в 2009-ом – ещё на порядок. Технологический уклад *сборки и разборки социальных субъектов методом управляемого хаоса* и уничтожения экономической инфраструктуры был просчитан и применён в Югославии и Ливии: формы конфронтации и сотрудничества меняются с историческим временем, как и формы воплощения таких инвариантов истории как свобода (снятие отчуждения как перевёртывания субъект-объектных отношений: создавая мир вещей и социальных институтов, необходимо имеющих конечный ресурс, человек постепенно попадает к ним в рабство) и рабство: сегодня выгоднее не людоедство, а более рациональное использование потенциала и труда подчинённых (в отличие от остальной биосферы, где хищниками и жертвами рождаются и умирают, в социуме, как писал Гегель, господин, постепенно передавая свои деятельностные характеристики рабу, со временем превращается в раба своего раба, а раб – в господина своего господина). При этом

рабочая сила как товар на рынке труда обнаруживает такое парадоксальное свойство, что чем больше в человека вкладывать, тем кратно большую отдачу можно от него получить. Это демонстрирует бесперспективность неквалифицированного рабского труда и подрывает сам принцип экономии на человеке: в человека оказывается выгодным как можно больше вкладывать.

Сегодня Россия переживает смутное время смены мировоззренческой установки. Ресурс каждой мировоззренческой установки конечен, и история обновляется их сменой, драмой перехода от одной формы воплощения высшего безначального Начала к другой. Здесь возникают развилки (бифуркации), множество которых рисует картину мира как океана ветвящихся возможностей (без этого нет свободы, включающей свободу выбора и свободу создания новых возможностей, и нет ответственности), которые по-разному реализуются в разных локусах общечеловеческого социума. Одни инфантильно возвращаются в детство человечества, другие пробивают новые пути, раздвигают горизонты старого мира, переосмысляя его в контексте новой, расширенной картины мира и обобщая сами инварианты истории. Одни бегут в детские иллюзии, другие закаляют свой дух и ценой утраты прежних иллюзий создают новые возможности жизни и открывают новые пути взрослеющему человечеству. Среди тех, кто пытается возродить иллюзии реинкарнации, могут быть и наивные взрослые дети, и циничные обманщики. Но с ними не по пути тем, кто идёт вперёд.

Март 2012 г.

УДК 530.12: 531.51

ПОСТ-ЭЙНШТЕЙНОВА КОСМОЛОГИЯ: КРУЧЕНИЕ, СТРУНЫ, ДУАЛЬНАЯ СИММЕТРИЯ

Р. Ф. Полищук

АКЦ ФИАН, Москва

Здесь предложена гипотеза, что тяжёлые двухцветные лептонные образования, отвечающие группе, дуальной группе SU(2), и названные фридмонами, являются частицами тёмной материи. Приведены аргументы в пользу обобщения теории Эйнштейна до теории Эйнштейна-Картана. Показано, что струнные добавки в метрики Шварцшильда и де-Ситтера отвечают космологической постоянной.
PACS: 04.50 Kd, o4.60 m, 04.70 Bw

Ключевые слова: космология, кручение Картана, дуальная симметрия, струнные добавки, космологическая постоянная

Введение. Дж. Уилер [1] установил, что «объект, являющийся центральным во всей классической общей теории относительности, 4-мерная геометрия пространства-времени, просто не существует, если выйти за рамки классических представлений». Релятивистская квантовая механика не допускает точной локализации частиц. Изометрии метрики де-Ситтера переплетают 4-импульс с угловым моментом (и спином частиц Дирака) [2], что делает естественным дополнить геометризацию массы в виде римановой кривизны геометризацией спина в виде кручения Картана [3-6]. Коллапс материи останавливается не только при достижении планковской плотности, но и на радиусе Картана, отвечающем балансу положительного потенциала тяготения (источник – масса) и отрицательного потенциала отталкивания (источник – спин). Теория струн [7] даёт струнные добавки в общую теорию относительности, эквивалентные в некоторых случаях космологической постоянной. Дополнение симметрии *SU(3)xSU(2)xU(1)* частиц Стандартной модели дуальной симметрией [8] позволяет искать здесь кандидатов на роль частиц тёмной материи [9-11]: ведь эти частицы взаимодействуют с обычными частицами только гравитационно. В честь пионера релятивистской космологии

А. А. Фридмана (1888-1925) мы назвали эту частицу *фридмоном*. Если массу Метагалактики (примерно $2\cdot10^{56}$ г) сжать в шар или, лучше, 3-сферу предельной, планковской плотности размером $5{,}157\cdot10^{93} g/cm^3$, то получится частица, которую естественно назвать *(перво)атомом Леметра* размером $l_u = 3{,}42\cdot10^{-13} cm$.

Можно предположить, что вначале (после, скажем, инфляции типа Коулмена-Вайнберга [12]) был мир де-Ситтера в виде атома Леметра. Поскольку при планковской плотности не должно быть индивидуальных частиц, включая частицы планковского размера (*планкеоны*), размер атома Леметра можно предположительно считать размером первичной фундаментальной струны l_u. Струне Планка $l_{pl} = 1{,}616\cdot10^{-33}$ см относительно струны Леметра была дуальна первичная струна Планка $l_0 = 0{,}7238\cdot10^{8}$ см. Инверсия $R \to l_u^2 / R \Rightarrow l_0 \to l_{pl}$ в духе Т-дуальности струнной космологии вызвала переход топологических энергетических мод частиц в осциляционные в виде Большого Взрыва. Большой Взрыв можно связать с аннигиляцией струн с противоположными намотками - во втором приближении струны можно считать длинными шлангами, так что именно в пространстве размерности 3 они являются поверхностями коразмерности 1 и легко могут сталкиваться, аннигилировать и декомпактифицироваться. Переход топологических энергетических мод в осцилляционные, в излучение, означал переход почти всей массы-энергии первичного мира де-Ситтера в виде атома Леметра в материю излучения и вещества и изменение космологической постоянной $\Lambda_0 = 3l_u^{-2} = 2{,}565\cdot10^{25} cm \to \Lambda = 3a^{-2} = 1{,}33\cdot10^{-56} cm = 0{,}52\cdot10^{-81}\Lambda_0 (a = 1{,}53\cdot10^{28} cm)$.

Мы исходим из идеи Д. А. Киржница и А. Д. Линде [13-15] о релятивистских фазовых переходах вакуума, когда «сохраняется лишь полный тензор энергии-импульса, а не тензор энергии-импульса вещества и конденсата по отдельности» – имеется в виду тензор энергии-импульса квазичастиц и вакуума. В теориях без спонтанного нарушения симметрии указанное разбиение фиксировано, но при изменении температуры возникает нарушение первого закона термодинамики для вещества: масса-энергия вакуума может рождать материю. Киржниц и Линде пренебрегли вкладом космологической постоянной, мы же, наоборот, считаем, что, грубо говоря, почти вся масса вакуума де-Ситтера перешла в расширяющуюся материю. Гравитационный радиус материи после взрыва атома Леметра (излучения и вещества), вычисляемый с помощью постоянной тяготения Ньютона (при принятии скорости света за единицу её произведение на постоянную Планка равно квадрату планковской длины $2{,}612\cdot10^{-66} cm^2$ – здесь можно предположить, что в будущей единой теории физических взаимодействий число фундаментальных постоянных уменьшится, обнаруживая взаимосвязь современных фундаментальных физических констант) стал примерно равен $10^{28} cm$ – это радиус кривизны и горизонта событий Метагалактики (этот горизонт отвечает сверхсветовой скорости увеличения расстояния между наблюдателями, и у каждого наблюдателя горизонт свой – при той же его величине, как и на шарообразной Земле), приближённо описываемой метрикой де-Ситтера. Масштабу объединения взаимодействий отвечает величина примерно $10^{-26} cm$. Связывая с массой атома Леметра новую частицу (фридмон) так, как гравитационный радиус средней звезды связан с размером нуклона как её основного элемента, мы получим размер $l_f = 2{,}3\cdot10^{-23} cm$ и массу $m_f = 1{,}53\cdot10^{-15} g$ фридмона.

Каждая частица имеет ненулевую массу (покоя или движения) и, по всей вероятности, ненулевой спин – частицы нулевого спина можно считать, видимо, спаренными (ведь даже нейтральный нейтрон состоит из заряженных кварков). Что касается дуальных симметрий, то они естественно обобщают симметрии обычные. Например, собственные спиноры, отвечающие тензору Вейля, определяются с точностью до множителя. Геометрически спинор – это точка на небесной сфере наблюдателя, в которую летит имеющая поляризацию безмассовая частица (имеем флаг со световым флагштоком и ортогональным ему 2-направлением полот-

нища). Произвольность множителя означает факторизацию по ориентации флага, и соответствующая 1-напрвлению точка на небесной сфере тождественна противоположной точке. Но такая факторизация превращает сферу в проективную плоскость (которую сфера дважды накрывает – отсюда, возможно, появляется двойка в отношении зарядов кварков и в других случаях). Если любое гладкое векторное поле имеет на 2-сфере две особенности (например, на полюсах, поскольку характеристика Эйлера чётно-мерных сфер равна двум), то поле 1-направлений на сфере имеет 4 особенности – отсюда получаем именно 4 собственных 1-спинора для спинора Вёйля (отвечающих комплексным самодуальным и антисамодуальным формам бесследового тензора конформной кривизны Вейля по известной классификации Петрова гравитационных полей в интерпретации Пенроуза). В группах симметрии переход к дуальным группам тоже даёт новую топологию и новое качество частицам, отвечающим неприводимым представлениям группы симметрии. Поскольку точную симметрию среди групп, дуальных группам стандартной модели, имеет только группа, дуальная группе SU(2), отвечающую ей частицу можно считать фридмоном

1. **Обобщение понятий массы и спина в мире де-Ситтера.** О связи массы и спина говорит уже известная формула для массы пи-мезона [16], понимаемой как собственное значение соответствующего оператора Казимира

$$m^2 = m_0^2 + \lambda^2[J(J+1) - I(I+1) + \frac{1}{4}\Upsilon^2] \qquad (1)$$
$$m_0^2 = p_\mu p^\mu, \lambda^2 \cong 14 \cdot 10^4 (MeV)^2$$

где J, I, Υ представляют спин, изоспин и гиперзаряд. Вращение Земли увеличивает её массу, но центробежные силы уменьшают силу притяжения на экваторе. Спин действует подобно угловому моменту. Видимо, именно спин препятствует сжатию струны «в точку» (мы ставим кавычки, поскольку точки в теории струн следует понимать условно) и вызывает её вибрацию вдоль светового конуса (ведь собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света) и принцип неопределённостей Гейзенберга (заметим также, что недистрибутивность квантовой логики углубляет понимание так называемого «дуализма волна-частица»). О различии зависимости действия массы и спина от расстояния говорит, в частности, решение Копчиньского [17] для модифицированных уравнений Фридмана для поляризованной пыли с плотностями массы ρ и спина σ, зависящими только от времени (в единицах G=c=1):

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2(dx^2 + dy^2 + dz^2)$$
$$P^\mu = \rho u^\mu, u^\mu = \delta_0^\mu, S_{23} = \sigma, S_{\mu\nu} = 0, \mu + \nu \neq 5$$
$$\frac{1}{3}(a)^2 - \frac{M}{a} + \frac{3}{2}\frac{S^2}{a^4} = 0 \qquad (2)$$
$$M = (4/3)\pi\rho a^3 = const, S = (4/3)\pi\sigma a^3 = const$$

Мы видим, что масса и спин имеют полюса разного порядка и что при $M/a^3 = (3/2)S^2/a^6$ вклады плотностей массы и спина уравновешивают друг друга. В теории Эйнштейна-Картана равновесие достигается на *радиусе Картана,* определяемом равенством [5,6]

$$m/l_{car}^3 = (8\pi G/c^4)s^2/l_{car}^6 \qquad (3)$$

С помощью безразмерного спина J и комптоновской длины волны l_{com} (для частицы-струны она отвечает длине струны) эту формулу можно представить в виде ($l_{pl} = 1,616 \cdot 10^{-33} cm$)

$$l_{car}^3 = 8\pi J^2 l_{pl}^2 l_{com}$$
$$J = 1/2 \Rightarrow l_{car}^3 = 2\pi l_{pl}^2 l_{com} \qquad (4)$$

Для нуклона $l_{car} = 0,5 \cdot 10^{-26} cm,$ что близко масштабу великого объединения взаимодействий. Умножив объём ячейки Картана (4) на планковскую плотность, получим минимально возможную массу чёрной дыры для поляризованной нуклонной материи $0,6 \cdot 10^{15}$ г. Формула (4) как будто наводит на мысль, что картановская ячейка сама имеет вытянутую форму с планковской площадью сечения. Впрочем, умножение на квадрат планковской длины означает просто деление геометрической массы (половина её гравитационного радиуса) на планковскую плотность и получение объёма объекта. Но в случае перехода атома Леметра в современную Метагалактику мы можем представить её сжатую до планковской плотности массу в виде цилиндра планковского сечения с равной радиусу 4-кривизны длиной, что означает, что число его ориентаций, отвечающих одному макросостоянию Вселенной, пропорционально площади горизонта событий и даёт энтропию белой антидыры де-Ситтера (четверть площади горизонта в планковских площадях, равных постоянной Планка при $G = c = 1$)), приближённо отвечающей современной Метагалактике.

О необходимости обобщения понятий массы и спина говорит уже обобщение уравнения Дирака для мира де-Ситтера радиуса кривизны a [2] (ниже J_{ab} – операторы углового момента импульса, γ_a – антиэрмитовы 4×4 матрицы Дирака)

$$
\begin{aligned}
& L\psi = \frac{1}{2a}\gamma_a\gamma_b L_{ab}\psi = m_s\psi \\
& m_s = m + (2i/a), \gamma_a\gamma_b + \gamma_b\gamma_a = 2\delta_{ab}, a,b = 1,2,3,4,5 \\
& L_{\ ab} = -i(\xi_a\partial/\partial\xi_b - \xi_b\partial/\partial\xi_a) - (i/2)\gamma_a\gamma_b = J_{ab} - (i/2)\gamma_a\gamma_b \qquad (5) \\
& \xi_1^{\ 2} + \xi_2^{\ 2} + \xi_3^{\ 2} + (i\xi_4)^2 + \xi_5^{\ 2} = a^2 \\
& m, \xi_a \in R
\end{aligned}
$$

Величину m_s можно условно назвать *спинмассой.* Двузначное представление группы де-Ситтера *SO(4,1)* осуществляет матрица *S:*

$$
\begin{aligned}
& S = \exp(\frac{1}{4}\gamma_a\gamma_b\omega_{ab}), \omega_{ab} = -\omega_{ba}, \qquad (6) \\
& \gamma_a\ \xi_a' = S\gamma_a\xi_a S^{-1} \Rightarrow \psi \to S\psi
\end{aligned}
$$

Стереографическая проекция комплексной сферы S^4 (отвечающий ей однополостный гиперболоид де-Ситтера в 5-мерном мире Минковского превращается в топологическую 4-сферу при добавлении двух сингулярных несобственных точек) даёт координаты $x^\mu = t, x, y, z$ и конформно-плоскую метрику де-Ситтера в виде

$$
\begin{aligned}
& ds^2 = (1 + \frac{r^2 - t^2}{4a^2})^{-2}(-dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2) \qquad (7) \\
& r^2 = x^2 + y^2 + z^2
\end{aligned}
$$

В стереографической проекции имеем:

$$
\begin{aligned}
& J_{\mu\nu} = x_\mu P_\nu - x_\nu P_\mu + \frac{i}{2}\gamma_\mu\gamma_\nu, P_\mu = -i\frac{\partial}{\partial x^\mu} \qquad (8) \\
& \frac{1}{a}J_{5\mu} = \Pi_\mu + \frac{i}{2a}\gamma_5\gamma_\mu = (1 + \frac{r^2 - t^2}{4a^2})P_\mu + \frac{x_\nu}{2a^2}L_{\mu\nu} + \frac{i}{2a}\gamma_5\gamma_\mu
\end{aligned}
$$

Если ввести матрицу-столбец $\eta = (1 + \frac{r^2 - t^2}{4a^2})^{-2}(1 + \frac{\gamma_5\gamma_\mu x_\mu}{2a})\psi,$ (9)

то уравнение (5) примет вид [2] $\gamma_5\gamma_\mu P_\mu\eta = (1 + \frac{r^2 - t^2}{4a^2})^{-1} m\eta$ (10).

Здесь менее очевидна релятивистская инвариантность данного уравнения Дирака, но сразу видно, что отождествление частиц в далёких галактиках земным наблюдателем (с большими переменными квазитрансляциями группы де-Ситтера, связывающими галактики с наблюдателем) даст различные оценки их масс. Дело в том, что физический смысл имеют не масса и спин, но их обобщения как собственные значения операторов Казимира, зависящих от смещения:

$$I_1 = -\frac{1}{2a^2} J_{ab} J_{ab} = -\Pi_\mu \Pi_\mu - \frac{1}{2a^2} J_{\mu\nu} J_{\mu\nu} = M^2$$
$$I_2 = -W_a W_a = -V_\mu V_\mu - \frac{1}{a^2} W_5^2$$
$$W_a = \frac{1}{8a} \varepsilon_{abcde} J_{bc} J_{de}, V_\mu = -\frac{1}{2} \varepsilon_{5\mu\nu\lambda\rho} \Pi_\nu J_{\lambda\rho}, \qquad (11)$$
$$W_5 = \frac{1}{8} \varepsilon_{\lambda\mu\nu\rho} J_{\lambda\mu} J_{\nu\rho}$$
$$a \to \infty \Rightarrow I_1 \to m^2, I_2 \to m^2 s(s+1)$$

В общем случае имеем комбинации массы и момента импульса (импульс определяется трансляциями, а на сфере они локализуются до вращений комплексной 4-сферы) для оператора I_1 и также спина – для оператора I_2.

2. Струнные вклады в общую теорию относительности. Распространение бозонной струны в 26-мерном римановом пространстве (размерность отвечает числу степеней свободы частицы-струны) с метрикой $g_{\alpha\beta}$ и внутренней метрикой $h_{ab} = e^{\varphi} \eta_{ab}$ мировой 2-поверхности струны $X^\rho(\sigma, \tau)$ с временем τ описывается действием [7]

$$S = -\frac{1}{4\pi\alpha'} \int d\sigma d\tau \sqrt{h} h^{ab} \partial_a X^\alpha \partial_b X^\beta g_{\alpha\beta} \qquad (12)$$

Беря разложение метрики $g_{\alpha\beta}$ по нормальным римановым координатам x^μ в точке $X_0{}^\rho$, получаем эффективное действие

$$\tilde{S} = -\frac{1}{4\pi\alpha'} \int d\sigma d\tau \varphi R_{\alpha\beta}(X^\rho) \partial_a X^\alpha \partial^a X^\beta \qquad (13)$$
$$X^\alpha(\sigma, \tau) = X_0{}^\alpha + x^\alpha(\sigma, \tau)$$

Здесь $X_0{}^\alpha$ удовлетворяет уравнениям классического фонового поля, $x^\alpha(\sigma, \tau)$ – это квантовые флуктуации струны. Требование вейль-инвариантности (независимости от φ) квантовой гравитации в однопетлевом приближении требует равенства

$$R_{\alpha\beta}(X^\rho) = 0 \qquad (14)$$

При этом следом тензора энергии-импульса является бета-функция Эйлера

$$\beta_{\alpha\beta}(X^\rho) = -\frac{1}{2\pi} R_{\alpha\beta}(X^\rho) \qquad (15)$$

С учётом одно- и двухпетлевого вклада бета-функция имеет вид

$$\beta_{\alpha\beta}(X^\rho) = -\frac{1}{4\pi} (R_{\alpha\beta} + \frac{\alpha'}{2} R_{\alpha\mu\nu\lambda} R_\beta{}^{\mu\nu\lambda}) \qquad (16)$$

Здесь появляется струнный вклад [7] $$R_{\alpha\beta} \to R_{\alpha\beta} + \frac{\alpha'}{2} R_{\alpha\mu\nu\lambda} R_\beta{}^{\mu\nu\lambda} \qquad (17)$$

Наклон реджевской траектории $\alpha' = l^2 / 2, l$ – длина струны (здесь – планковской или адронной, возможно также – фридмонной и/или струны Леметра, отвечающей Метагалактике, сжатой в начале Большого Взрыва до планковской плотности). Для суперструны возникает аналогичная конструкция для размерности *D=10.* Струнная поправка мала, когда радиус про-

странства-времени велик по сравнению с длиной струны. В струнном подходе возникает самосогласованность между фоновыми полями, определяющими динамику струны, и динамикой струны, а также действует динамика струны, определяющая возможные фоновые поля.

Большой Взрыв сопровождается декомпактификацией четырёх измерений, к которым мы и отнесём тензор Риччи (17). Тогда уравнения Эйнштейна примут вид (строго говоря, следует варьировать уже лагранжиан с квадратичными членами тензора кривизны, но результат качественно должен быть близким данному):

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} + \frac{\alpha'}{2}(R_{\mu\alpha\beta\gamma}R_{\nu}^{\ \alpha\beta\gamma} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R_{\alpha\beta\gamma\delta}R^{\alpha\beta\gamma\delta}) = 8\pi T_{\mu\nu} \qquad (18)$$

Для мира де-Ситтера с постоянной 4-кривизной $1/a^2$ вдоль каждого 2-направления

$$R_{\mu\nu\alpha\beta} = \frac{1}{12}R(g_{\mu\alpha}g_{\nu\beta} - g_{\mu\beta}g_{\nu\alpha}), R = 4\Lambda = 12/a^2 \qquad (19)$$

уравнения (18) принимают вид

$$G_{\mu\nu} + (\Lambda + \frac{\alpha'}{48}R^2)g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} + 3(\frac{1}{a^2} + \frac{\alpha'}{a^4})g_{\mu\nu} = 0 \qquad (20)$$

Если вначале космологического члена не было, то струнный вклад его создаёт. Если фундаментальная струна была струной Леметра, то космологический член отвечает атому Леметра. После превращения массы-энергии вакуума (скалярного поля) почти целиком в массу-энергию материи (прежде всего – излучения) космологическая постоянная уменьшилась: $2,565\cdot10^{26}cm^{-2} \to 1,33\cdot10^{-56}cm^{-2}$. Приведём нужные соотношения.

$$m_u = 2\cdot10^{56}g = 5,157\cdot10^{93}(g/cm^3)\cdot(3,42\cdot10^{-13}cm)^3 = \rho_{pl}l_u^3$$
$$Gm_u/c^2 = a = 1,53\cdot10^{28}cm = l_u^3/l_{pl}^2 = [(l_u^2/l_{pl})/l_{pl}]l_u = (l_0/l_{pl})l_u \qquad (21)$$
$$l_0 = l_u^2/l_{pl} = 0,7238\cdot10^8 cm, R \to l_u^2/R \Rightarrow l_0 \to l_{pl} = 1,616\cdot10^{-33}cm$$

Для риччи-плоского мира Шварцшильда

$$ds^2 = -(1-\frac{2m}{r})dt^2 + (1-\frac{2m}{r})^{-1}dr^2 + r^2d\Omega^2 \qquad (22)$$
$$G = c = 1, Gm/c^2 = m$$

уравнения поля со струнными добавками принимают вид

$$G_{\mu\nu} + \frac{3\alpha' m^2}{r^6}g_{\mu\nu} = 0 \qquad (23)$$

Тензор Римана для метрики (21) в собственной тетраде, где пары векторов определяют два направления экстремального значения кривизны, принимает в бивекторном пространстве вид:

$$R_{abcd} = diag(-\frac{2m}{r^3}, \frac{m}{r^3}, \frac{m}{r^3}, \frac{2m}{r^3}, -\frac{m}{r^3}, -\frac{m}{r^3}) \qquad (24)$$

Уравнения Эйнштейна имеют тогда вид:

$$G_{ab} = \frac{3\alpha' m^2}{r^6}diag(1,-1,-1,-1) = 8\pi diag(\rho, p, p, p) \qquad (25)$$

Из свёрнутых тождеств Бьянки $\nabla^\mu G_{\mu\nu} = 0$ следует $r = const$. Это возможно для внутреннего решения Шварцшильда (для однородного распределения материи источника) на его границе $r = a$:

$$ds^2 = -\frac{1}{4}[3\sqrt{1-2m/a} - \sqrt{1-(2mr^2/a^3)}]^2dt^2 + \frac{dr^2}{1-(2mr^2/a^3)} + r^2d\Omega^2 \qquad (26)$$

Горизонт событий и сшивки внешнего и внутреннего решений отвечает равенству $2mr^2 = a^3$. При $\alpha' = 4a^2, m = a/2, r = a$ получаем решение де-Ситтера

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 0$$
$$\frac{\Lambda}{3} = \frac{\alpha' m^2}{r^6} = \frac{1}{a^2} \qquad (27)$$

Эвристическим рассуждением в пользу изотропизации решения может быть предположение, что на минимальных (например, планковских) масштабах флуктуации метрики сравнимы с самой метрикой, и пара событий «не знает» ни величины, ни даже сигнатуры разделяющего их интервала (если указанные понятия ещё имеют смысл), так что выживает изотропная метрика, тензор энергии-импульса которой наследует сигнатуру метрики и имеет уравнение состояния с отрицательным давлением. При наличии кручения и положительной плотности массы эффективная плотность источников с учётом спина может быть отрицательной, что делает неприменимым вывод теорем о неизбежной сингулярности внутри ловушечной поверхности [3,4]. Кроме того, из известных уравнений для оптических скаляров Сакса [18] следует, что усреднение деформации сдвигов выглядит как дилатация, и усреднённая, соответственно, конформная кривизна проявляется как кривизна риччиева, так что, скажем, гравитационные волны метрики и конформной кривизны локально пустого мира несут в среднем положительную массу-энергию излучения. Заметим также, что внутреннее решение Шварцшильда со струнным членом только наводит на мысль, что атом Леметра – не шар, но однородная 3-сфера, отвечающая границе полостей гиперболоида де-Ситтера. А инверсия топологических и осцилляционных энергетических мод перестраивает этот гиперболоид (через фридмановскую стадию эволюции).

При релятивистских фазовых перестройках вакуума, которых могло быть несколько [12,19], сверх струны Леметра с размером атома Леметра (там, очевидно, единое физическое взаимодействие с единственной фундаментальной константой ещё не разделилось на части) возникли, очевидно, планковская и адронная струны, а для фридмонов – фридмонная струна.

3. Гипотеза дуальной симметрии. Поиск единого смыслового стержня физики делает желательным построить Модель великого объединения взаимодействий (и найти связь фундаментальных физических констант) с помощью более общей группы симметрии (идея топологии малых чисел интуитивно подсказывает, что здесь слишком большие размерности приведут к тривиальности), включающей в качестве подгрупп группы симметрии Стандартной модели *SU(3), U(2).* Первая симметрия считается точной, вторая – нарушенной (бета-распад даёт смешение различных поколений фермионов). Исключительная группа Ли E(8) содержит группы Стандартной модели в качестве подгрупп. Но имеет смысл дополнить эту группу умножением её на дуальную ей группу [9-11]. Вспомним, что метрически и топологически самосопряжённый оператор Лапласа $\delta d + d\delta$ строится на римановом многообразии с помощью внешнего дифференциала и оператора дуального сопряжения (перехода к ортогонально дополнительным геометрическим образам) Ходжа, который тоже допускает обобщения [8].

В работе Ханя и Цу [8] дано неабелево обобщение электрической и магнитной дуальности. В их схеме каждая (неабелева) группа симметрии элементарных частиц имеет соответствующую дуальную группу, которая играет качественно иную роль, чем исходная группа. Например, точная группа симметрии группы цвета *SU(3)* обеспечивает удержание кварков, а дуальная группа нарушает симметрию. Дуальный цвет предсказывает 3 и только 3 поколения фермионов – ведь дуальные симметрии, давая новые частицы с другим действием механизма Хиггса, тем не менее связаны друг с другом, поскольку связаны друг с другом соотношением дуальности сами исходные величины. Схема Ханя-Цу с помощью трёх подгоночных параметров позволяет вычислить 14 из 17 параметров Стандартной модели (углы Кабиббо и Вайнберга, массы кварков и лептонов и так далее) [19]. Кроме того, в дополнение к группе электрослабого взаимодействия с нестабильными промежуточными бозонами появляется дуальная ей группа симметрии, которая относится к пока не открытой симметрии и

определяет аналоги кварков в виде удерживаемых «двухцветных» лептонных образований [19], которые мы предлагаем отождествить с фридмонами как частицами тёмной материи: ведь частицы исходных групп с частицами дуальных групп симметрии взаимодействуют только гравитационно – масса является универсальным гравитационным зарядом.

Напомним идею электромагнитной дуальности. Истинной переменной при калибровочном подходе здесь является 1-форма (ковектор) $A = A_\mu dx^\mu$. Электромагнитный тензор $F = dA = (\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu) dx^\mu \wedge dx^\nu$. Уравнения Максвелла:

$$\begin{aligned} &\delta dA = -j, ddA = 0 \\ &dd = \delta\delta = 0, \delta = *^{-1} d * \\ &\delta j = -\nabla^\mu j_\mu = 0,\ j^\mu = e\bar{\psi}\gamma^\mu\psi \\ &*F_{\mu\nu} = -\frac{1}{2}\varepsilon_{\mu\nu\alpha\beta}\sqrt{-g}F^{\alpha\beta} \end{aligned} \qquad (28)$$

Для *p*-формы на *n*-многообразии имеем

$$*^{-1}\alpha = (-1)^{p(n-p)} \operatorname{sgn}\det(g_{\mu\nu}) * \alpha$$

Заметим, что внешний дифференциал d не зависит от метрики, а кодифференциал δ – зависит, в том числе зависит от конформного фактора метрики мировой поверхности струны. Переход к дуальным величинам в некотором смысле меняет роли дифференциала и кодифференциала, а в уравнениях Максвелла – роли электрического и магнитного полей.

Для свободного поля $d*F = 0$, и по лемме Пуанкаре локально имеем потенциал A и дуальный потенциал $\tilde{A}$, так что $F = dA, *F = d\tilde{A}$. Группа симметрии *U(1)*обобщается здесь до $U(1)\times\tilde{U}(1)$. Если в природе существовали бы и электрические, и магнитные заряды, то уравнения Максвелла имели бы вид

$$\partial_\nu * F^{\mu\nu} = -\tilde{j}^\mu, \partial_\nu F^{\mu\nu} = -j^\mu \qquad (29)$$

Здесь $\tilde{j}^\mu$ – заряд монополя. Электрический заряд потенциала A можно рассматривать как монополь потенциала $\tilde{A}$. Придание глобального смысла лемме Пуанкаре ограничивает топологию, позволяя с помощью лагранжевых множителей $\lambda_\mu = \tilde{A}_\mu, \tilde{\lambda}_\mu = A_\mu$ рассматривать действия

$$\begin{aligned} A &= -\frac{1}{4}\int F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \int \lambda_\mu(\partial_\nu * F^{\mu\nu} + \tilde{j}^\mu) \\ A' &= -\frac{1}{4}\int *F_{\mu\nu} * F^{\mu\nu} + \int \tilde{\lambda}_\mu(\partial_\nu F^{\mu\nu} + j^\mu) \end{aligned} \qquad (30)$$

Варьированием относительно F и $*F$ можно получить

$$\begin{aligned} F^{\mu\nu} &= 2\sqrt{-g}\varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma}\partial_\rho\lambda_\sigma \\ *F^{\mu\nu} &= 2\sqrt{-g}\varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma}\partial_\rho\tilde{\lambda}_\sigma \end{aligned} \qquad (31)$$

Для частицы массы *m,* удовлетворяющей уравнению Дирака с зарядом *e,* можно рассматривать действие

$$A' + \int \bar{\psi}(i\partial_\mu\gamma^\mu - m)\psi \qquad (32)$$

Варьирование относительно $*F$ даёт уравнение $\partial_\mu * F^{\mu\nu} = 0,$ а относительно $\bar{\psi}$ – уравнение

$$(i\partial_\mu\gamma^\mu - m)\psi = -eA_\mu\gamma^\mu\psi \qquad (33)$$

Здесь использованы критерии Ву и Янга [20] для вывода уравнений Максвелла с привлечением идеи дуальности в присутствии материи [8]. Это говорит о том, что идея дуальности углубляет наши представления о мире.

Заметим, что уравнение Дирака для частиц с массой не сохраняет аксиальный ток $j_{\mu 5} = i\bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_5\psi$, хотя $\partial_\mu j_{\mu 5} = 0$, поскольку [21]

$$\partial_\mu(\bar{\psi}\gamma_\mu\gamma_5\psi) = 2im\bar{\psi}\gamma_5\psi \qquad (34)$$

Эффект появления массы при поэтапном нарушении симметрии (а нарушение симметрии от атома Леметра с метрикой де-Ситтера до современной квазидеситтеровой метрики могло быть поэтапным) модифицирует теорему Голдстоуна: *в локальной трансляционно-инвариантной теории поля с сохраняющимся 4-током* $j_\mu(x)$ *и вакуумом, неинвариантным относительно непрерывной группы симметрии, генератором которой является заряд* $\int j^0(x)d^3x$, *имеются безмассовые частицы.* Модифицированная теорема Голдстоуна: *В локальной теории поля с частично сохраняющимся током и неинвариантным вакуумом должны присутствовать голдстоуновские бозоны с конечной массой [21].* С точки зрения этой теоремы голдстоуновскими частицами могут быть пи-мезоны в случае группы *SU(2)* и октет мезонов в случае группы *SU(3).* Естественно предположить появление массы описывающих взаимодействие фридмонов «дуальных глюонов» в случае дуальной группы $S\tilde{U}(2)$.

Оценку массы фридмона можно получить из оценки массы средней звезды по массе нуклона как её основного элемента. Чтобы шар (или 3-сфера), плотно упакованный нуклонами, стал чёрной дырой (или близким к ней образованием), необходимо его радиус увеличить во столько раз, во сколько размер нуклона l_n превышает размер планкеона l_{pl}, который сам себе (как и атом Леметра) – чёрная дыра (её коллапс предотвращают планковская плотность, спин и принцип неопределённостей):

$$\begin{aligned} &m_* \approx (l_n / l_{pl})^3 m_n \approx 2\cdot 10^{33} g \\ &l_n m_n = l_{pl} m_{pl} \Rightarrow m_{gr*} := Gm_*/c^2 \approx l_n^2 / l_{pl} \approx 1{,}5\cdot 10^5 cm \end{aligned} \qquad (35)$$

Приведём здесь (в единицах $G = c = 1$) некоторые соотношения: для комптоновской длины основного элемента тела определённой гравитационной массы (равной половине её гравитационного радиуса) $l_{com}^2 = l_{pl} m_{gr}$ и связь минимального размера тела при его сжатии до планковской плотности (ведь и нейтронная звезда имеет ядерную, но не планковскую плотность) и комптоновской длиной элементарной частицы тела: $l_{\min}^3 = l_{pl}^2 m_{gr}$. Для отдельной частицы $l_{com} m_{gr} = l_{pl}^2$. Для Метагалактики $m_{grU} \approx 1{,}5\cdot 10^{28} cm = 2\cdot 10^{56} g, l_{\min U} \approx 3{,}42\cdot 10^{-13} cm$. Если считать Метагалактику фридмонной звездой, возникшей из звезды Леметра, то для размера и массы фридмона получаем:

$$\begin{aligned} &l_f^2 \approx l_{pl} l_{\min U} \Rightarrow l_f \approx 2{,}3\cdot 10^{-23} cm \\ &m_f \approx 1{,}53\cdot 10^{-15} g = 0{,}677\cdot 10^9 GeV \end{aligned} \qquad (36)$$

(здесь мы считаем, что гравитационная масса Метагалактики была сжата до планковской плотности – современный размер горизонта событий возник поле инверсии топологических и осцилляционных мод частиц-струн, после рождения светлой и тёмной материи из начального вакуума де-Ситтера планковской плотности). Вопрос о преобладании тёмной материи над обычной остаётся открытым. Возможно, имеет место иное соотношение излучения и вещества для дуальной материи. Радиус 4-кривизны мира де-Ситтера постоянен, но в сопутствующей расширяющейся материи 3-пространство плоское (плоские сечения 4-гиперболоида). Заметим, что если вакуум уподобить кристаллу, а частицы материи – его дефектам, то расширение материи аналогично тому, что в сильном магнитном поле дефекты разбегаются. Отметим также взгляд Пенроуза на инфляцию: «Я уверенно отношу инфляционную космо-

логию к разряду умозрительных теорий» [19, с. 617]. Однородность атома Леметра естественна и без этапа инфляции, который, однако, возможен.

Заключение. Время покажет, насколько гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи обоснованна. Но уже очевидно, что постэйнштейнова космология будет развиваться дальше. В частности, для частиц с вращением не выполняется локальный принцип эквивалентности Эйнштейна: эти частицы движутся не по геодезическим. Уравнения Папапетру учитывают взаимодействие угловых моментов частиц с римановой кривизной, но не учитывают спин-спинового взаимодействия. Строго говоря, следует так обобщить лагранжиан физической системы, чтобы он содержал и угловой момент и чтобы каждое вращающееся пробное тело двигалось по своей геодезической. Но это требует такого обобщения связности, что параллельное перенесение геометрического объекта изменяло бы его размерность (перенесение отрезка должно перемешивать его с площадью и так далее). В подходе Чизхолма [22] базисом является не репер из ковекторов, но набор базисных форм всех степеней, преобразующихся при перенесении друг через друга.

Впрочем, идея суперсимметрии перемешивает координаты частиц с грассмановыми переменными, что обобщает понятие локализации и самого пространства-времени. Здесь можно указать, в частности, на работу Г. Л. Ставраки [23], который построил модель пространства-времени как виртуально-полевой структуры на локально-светоподобных причинных связях.

Список литературы

[1] Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер, Гравитация. Т. 3, М.: Мир, 1977, С. 447.
[2] Ф. Гюрши, Теория групп и элементарные частицы. М.: Мир, 1967, С. 25-113.
[3] T. W. B. Kibble, J. Math. Phys., V. 2, 1961, P. 212-221.
[4] D. W. Sciama, Recent Developments in General Relativity. Oxford, Pergamon Press, 1962, P. 415-439.
[5] N. J. Poplawski, arXiv: gr-qc/0910.1181 v 1, 7 Oct. 2009.
[6] R. F. Polishchuk, Black Holes in the Einstein-Cartan Theory. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute,* V. 2, No. 38, 2011, P. 52-58, 59-64.
[7] М. Грин, Дж. Шварц, Э. Виттен, Теория суперструн. В 2-х т. М.: Мир, 1990.
[8] H.-M. Chan, T. S. Tsou, Fermion Generations and Mixing from Dualized Standard Model, *Acta Physica Polonica B,* V. 33, No. 12, 2002, P. 4041-4100.
[9] Р. Ф. Полищук, Тёмная материя и дуальная группа симметрии E(8). Постерный доклад 10.02.2011, Сессия АКЦ ФИАН, ПРАО, Пущино, Москва, 2011 (не опубликован).
[10] Р. Ф. Полищук, Гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи. Краткие сообщения *по физике* ФИАН (в печати).
[11] Р. Ф. Полищук, Гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи. *Материалы конференции «Астрофизика высоких энергий – HEA-2011»,* 13-16.12.2011, ИКИ РАН, Москва, 2011, С. 62-63.
[12] А. Д. Линде, Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990.
[13] Д. А. Киржниц, А. Д. Линде, ЖЭТФ, Т. 67, Вып. 4(10), 1974, С. 1263.
[14] D. A. Kirzhnits, A. D. Linde, *Ann. of Phys.* V. 101, No. 1, 1976, P. 195.
[15] Д. А. Киржниц, *Труды по теоретической физике.* В 2-х т. Т. 2, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001, С. 377-389, 389-421.
[16] A. O. Barut, A. Böhm, Dynamical Groups and Mass Formula. Int. Centre for Theor. Phys., Trieste, P. 1- 18, March 1965.
[17] W. Kopczinski, *Bull. Akad. Polon. Sci., ser. sci., math., astr., phys.,* V. 23, 1965, P. 467-473.
[18] Р. Пенроуз, В. Риндлер, Спиноры и пространство-время. М.: Мир, 1988, С. 221.
[19] Р. Пенроуз, Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. М.-Ижевск, Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
[20] Tai Tsun Wu and Chen Ning Yang, *Phys. Rev. D14,* 1976, P. 437.

[21] А. А. Гриб, Е. В. Дамаскинский, В. М. Максимов, Проблема нарушения симметрии и инвариантности вакуума в квантовой теории поля. УФН, Т. 102, 1970, С. 587-620.
[22] J. S. R. Chisholm, R. S. Farwell, Clifford Approach to Metric Manifold, *Proceedings on the Winter School on Geometry and Physics*, Srni, 6-13 January 1990.
[23] Г. Л. Ставраки. Модель пространства-времени как виртуально-полевой структуры на локально-светоподобных причинных связях. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008, 128 с.

ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

О. С. Сироткин

Казанский государственный энергетический университет
mvtm2003@mail.ru

Материаловедение как традиционно прикладная наука и учебная дисциплина сегодня неминуемо вступает в новый этап своего развития. Он связан со становлением ее индивидуальных особенностей, позволяющих рассматривать ее уже не просто как «механический» симбиоз достижений химии, физики, механики и технологии, а как науку, характеризуемую качественно новой совокупностью признаков, отличающих материаловедение (ее объект и предмет исследования) от каждой из вышеперечисленных дисциплин. Кроме того, широчайшая номенклатура используемых на практике металлических и неметаллических (полимерных, керамических и др.) видов материалов привела к раздробленности этой науки и замедлению процесса формирования фундаментальных начал и индивидуальности предмета материаловедения. Поэтому следует признать, что, сегодня, материаловедение еще не достигло уровня строгой фундаментальной естественной науки, так как в ней отсутствуют два основных признака (критерия) этого: единая теория строения основного материального объекта ее исследования (в данном случае материала) и система, объединяющая на научной основе различные виды металлических и неметаллических материалов [1-8]. Выход из сложившейся ситуации один: необходимо первоочередное формирование теоретических основ материаловедения, отвечающих на вопрос об единстве природы металлов и неметаллов и специфике предмета этой науки в отличие от других дисциплин. Целью настоящей работы является попытка раскрытия совокупности этих качественно новых признаков материаловедения, отличающих ее от других естественнонаучных и учебных дисциплин. Это является сегодня теоретически и практически важной задачей материаловедения, так как именно решение проблемы вскрытия фундаментального единства металлических и неметаллических материалов и различий в их структуре и свойствах и позволит создать универсальную научно-методологическую опору для конструирования их структуры и получения материалов нового поколения [1-16]. А для этого необходима опора на ряд базисных научных инноваций, позволяющих раскрыть единство и индивидуальность материаловедения и далее разработать современную научную методологию прогнозирования структуры и свойств новых материалов. Сегодня под просто *инновацией* понимаются продукты творческого труда, имеющие завершенный вид товара, готового к применению и распространению [17, 18]. А под *базисными инновациями* понимаются такие инновации, в основе которых лежат фундаментальные научные достижения, позволяющие создавать качественно новые системы и продукты (материалы, технологии, учебники и т.д.) следующих поколений. К таким инновациям следует отнести создание самолета, персонального компьютера, наноструктурированных материалов и т.д. По мнению автора, ярким примером базисной инновации для своего времени может служить Периодическая система атомов Д. И. Менделеева, позволившая спрогнозировать наличие в природе и свойства атомов не известных ученым в

тот период времени. Кроме того, именно она позволила сегодня понять, что Системы, объединяющие различные виды веществ и полей, должны иметь место и для других разновидностей вещества (химического, биологического, элементарного физического и т.д.).

Таким образом, базисные научные инновации должны лежать и в основе современных монографий, учебников и т.д. по конкретным естественнонаучным дисциплинам. Решение поставленной задачи автором проведено через вскрытие фундаментальной общности металлов и неметаллов на уровне базовой электронно-ядерной (химической) тонкой микроструктуры, а также причин отсутствия в металлах молекул и различий в нано-, мезо-, макроструктурных уровнях [16]. И эта разница в структуре и определяет отличие в свойствах и областях применения современных металлических, неметаллических и смешанных (гибридных) типов материалов (металлы, полимеры, керамика, интерметаллиды, полу- и сверхпроводники и т.д.). Напомним, что железо в чистом виде не представляет практического интереса как конструкционный материал. Только в виде сплава с углеродом (стали и чугуны) оно приобретает ценные эксплутационные характеристики конструкционного материала. Но при этом рост прочности определяется появлением и увеличением доли фазы цементита в сплаве, которая по своей природе является уже неметаллом, так как ковалентность связи Fe-C в ней превышает металлическую составляющую [6-8]. Что сегодня заставляет нас рассматривать стали и чугуны как композиционные системы, на основе металлических (феррит и т.д.) и неметаллических фаз (цементит и графит) или например, перлит (смесь феррита и цементита) и ледебурит (смесь аустенита и цементита). Причем именно появление в железе неметаллических фаз (типа, цементита) и определяет, рост прочностных характеристик стали и возможность применения ее в качестве конструкционного материала. В качестве базисных инноваций, определяющих единство и различие структуры и свойств металлов и неметаллов, автор использовал четыре научных обобщения (или четыре базисных инновации), полученные и разработанные им или им вместе с учениками в период с 1991 по настоящее время [11-16,19-37]. Это универсальные *системы базовых (основных и вспомогательных) понятий материаловедения* (рис. 1) *и многоуровневой классификации структур материалов* (табл.), *единую модель химической связи элементов их тонкой микроструктуры* (рис. 2) *и Систему химических связей и соединений (СХСС)*, представленную на рис 3, включая левую сторону СХСС в виде «Химического треугольника» на рис. 4.

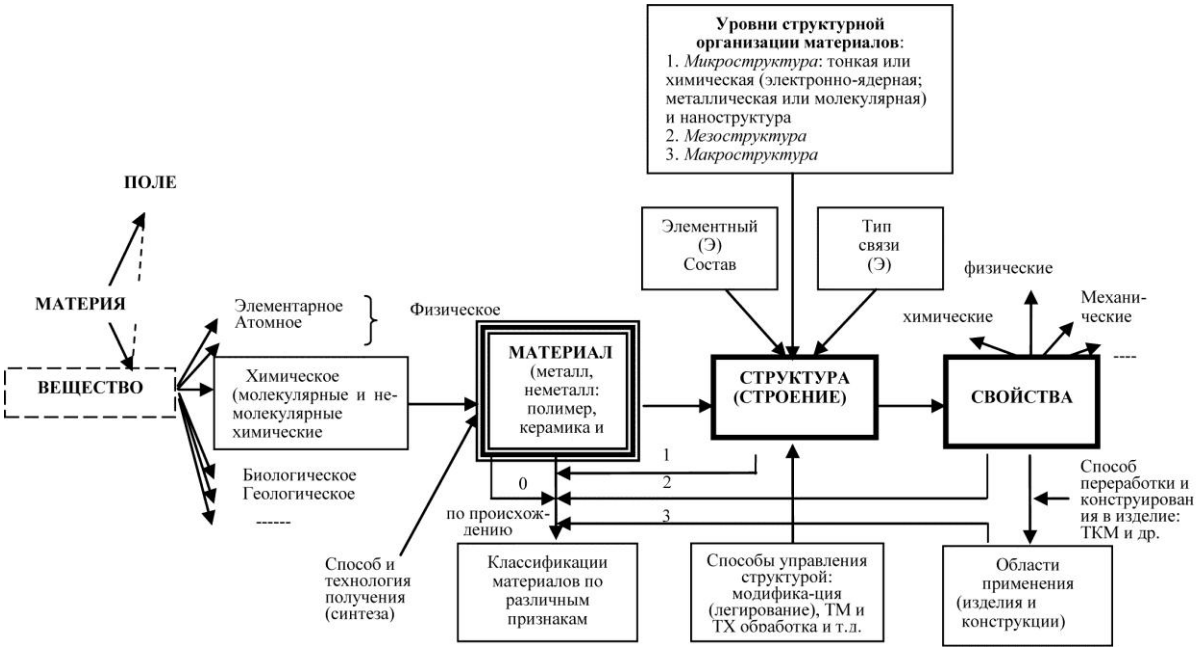


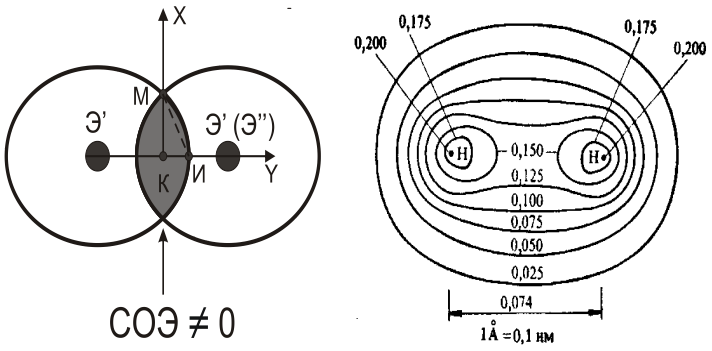
Рис. 1. Система базовых (основных и производных) понятий материаловедения [12] (О. С. Сироткин, 2007)

Таблица

Классификация основных уровней структурной организации металлических и полимерных материалов [6-8] (О. С. Сироткин, Р. О. Сироткин, 2006)

Уровни структуры и их размерный интервал	Структурные элементы в металлах	Структурные элементы в полимерах
1. Микроструктура:	Атомные остовы и обобществленные электроны, которые осуществляют химическую связь (преимущественно металлическую в металлах и преимущественно ковалентную в полимерах); точечные дефекты: вакансии и т.д. (0,0001–0,0005 мкм)	
тонкая *1а) электронно-ядерная;* ~1–5 Å (1–5·10^{-10}м)		
тонкая *1б) молекулярная;* ~5–10 Å (0,5–1·10^{-9} м)	*Молекулы в металлах отсутствуют,* поэтому структурными элементами данного уровня в них могут быть дефекты соответствующих размеров (0,0005–0,001 мкм)	Фрагменты макромолекул (атомные группировки) и единичные межзвенные (ван-дер-ваальсовые (ВДВ) и водородные) связи и низкомолекулярные вещества
1в) наноструктура; ~10 – 10 000 Å (10^{-9}–10^{-6} м)	Наночастицы (0,001–0,1 мкм) и поверхности раздела; фрагменты, блоки, полигоны (0,1–1 мкм) и область когерентного рассеивания (0,001–0,01мкм); линейные дефекты: дислокации и дисклинации (0,1–1 мкм)	Макро(олиго-)молекулы, внутри- и межмолекулярное ВДВ и водородное взаимодействие; надмолекулярные соединения: наночастицы и поверхности раздела; кристаллиты, ламели и границы раздела; линейные дефекты
2. Мезоструктура ~10^{4}–10^{7} Å (10^{-6}–10^{-3} м)	Субзерна (1–100 мкм) и субграницы; зерна (100–1000 мкм) и границы между ними; поверхностные дефекты (дислокационные ансамбли)	НМС: небольшие аксиалиты, эдриты и сферолиты диаметром до нескольких десятков мкм; поверхностные и небольшие объемные дефекты (поры и т.д.)
3. Макроструктура ~10^{7}–10^{9} Å (10^{-3}–10^{-1} м)	Структуры, образованные зернами (волокна, дендриты и т.д.) и поверхность раздела; крупные объемные дефекты (усадочные раковины, поры, трещины и т.д.)	НМС: крупные надмолекулярные образования в виде крупных аксиалитов, эдритов и сферолитов (от нескольких десятков мкм и выше); объемные дефекты (трещины и т.д.)

Примечание: Если в полимерах, на основе линейных макромолекул, наличие наноструктурных элементов является практически естественным (размеры индивидуальных макромолекул реально соответствуют размерам частиц коллоидно-дисперсных систем: 40–80 нм), то в металлах появление наночастиц обычно определяется нанотехнологией. НМС – надмолекулярные структуры, представляющие собой способ упаковки индивидуальных макромолекул (высокомолекулярных соединений).



а) *б)*

Рис. 2. Плоскостное изображение *единой модели химической связи* элементов тонкой структуры металлов и неметаллов [28] (по О. С. Сироткину, 2003) как совокупности ковалентной – К (точка К), металлической – М (вдоль оси *X*) и ионной – И (вдоль оси *Y*), составляющих (компонент) реального взаимодействия атомных остовов (ядер) в гомо- (Э'-Э") и гетероядерных (Э'-Э") в тонком микроуровне (1а, см. рис. 3) их структурной организации (*а*) и карта ЭП гомоядерной молекулы H_2 (*б*)

В рамках единой универсальной модели химической связи, степень обобществленных электронов (СОЭ) в результате наложения всех трех компонент химической связи друг на друга и характер локализации – делокализации ОЭ в межъядерном пространстве химического соединения можно описать в общем виде уравнением суммарной волновой функции [28]

$$\psi_{ОЭ} = c_1\psi_{ков} + c_2\psi_{мет} + c_3\psi_{ион}, \qquad (1)$$

где: c_1, c_2 и c_3 – коэффициенты, определяющие долю составляющих связи, которые в сумме равны единице или 100 %.

Эта модель и послужила фундаментальной основой создания Системы химических связей и соединений (СХСС) [19-28], объединяющей металлы и неметаллы (рис. 4) и раскрывающей общий характер влияния химической (электронно-ядерной) микроструктуры вещества на по-

следующие уровни их строения и специфику свойств, включая оценку индивидуального вклада различных уровней в характеристику конкретного эксплуатационного свойства [16, 28-37].

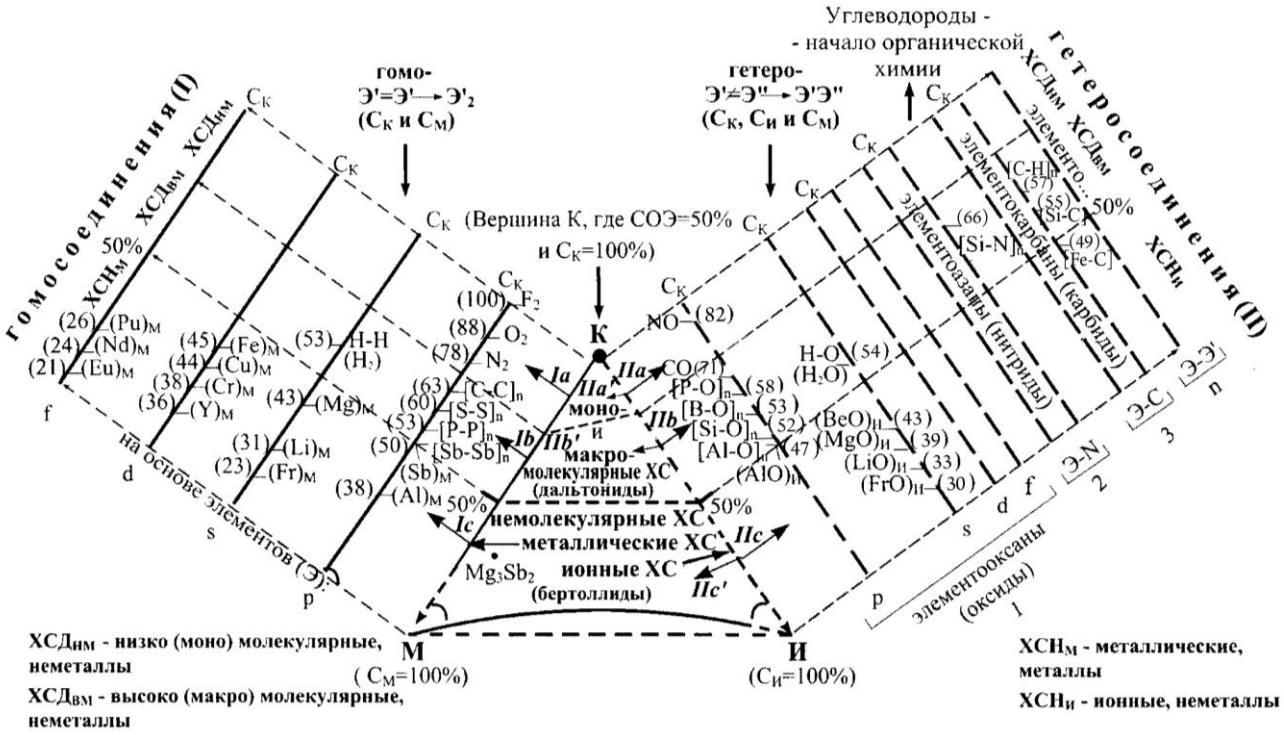


Рис. 3. «Химический треугольник» – как единая система химических связей и соединений (СХСС), веществ, металлических и неметаллических материалов на их основе [7,16, 24-28] (© О. С. Сироткин, *вариант 2005*)

1	2											13	14	15	16	17
$Li_м$ 23,42 76,57	$Be_м$ 39,69 60,31	$Be_м$ 1 39,69 2 60,31 3	1-обозначение элемента где м- металл 2-степень ковалентности – $C_К$, % 3-степень металличности – $C_М$, %				$[C]_n^{1,2,3}$ 48,32 62,49 68,35 51,68 37,51 31,65 Карбен графит алмаз Углерод		где, n степень полимеризации 1,2,3-мерность структуры			$[B]_n^3$ 51,03 48,97	$[C]_n^3$ 68,35 31,65	N_2 78,80 21,20	O_2 89,40 10,60	F_2 100 0
$Na_м$ 22,51 77,48	$Mg_м$ 33,26 66,74	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$Al_м$ 44,52 55,48	$[Si]_n^3$ 50,27 49,73	$[P]_n^2$,P_4 56,62 43,38	S_8, $[S]_n^1$ 65,75 34,25	Cl_2 73,79 26,21
$K_м$ 20,67 79,33	$Ca_м$ 26,51 73,49	$Sc_м$ 32,25 67,75	$Ti_м$ 35,62 64,38	$V_м$ 41,16 58,84	$Cr_м$ 43,51 56,49	$Mn_м$ 43,84 56,16	$Fe_м$ 44,02 55,98	$Co_м$ 46,67 53,33	$Ni_м$ 46,80 53,20	$Cu_м$ 49,33 50,67	$Zn_м$ 46,54 53,45	$Ga_м$ 44,24 55,76	$[Ge]_n^3$ 49,46 50,54	$As_м$ $[As]_n^2$ 53,16 54,29 46,84 46,71	$[Se]_n^1$,Se_8 65,29 34,79	Br_2 71,06 28,94
$Rb_м$ 19,50 80,49	$Sr_м$ 24,31 75,69	$Y_м$ 30,36 69,64	$Zr_м$ 33,14 66,86	$Nb_м$ 36,43 63,57	$Mo_м$ 38,71 61,29	$Tc_м$ 41,54 58,46	$Ru_м$ 41,51 58,48	$Rh_м$ 44,22 55,78	$Pd_м$ 38,65 61,35	$Ag_м$ 39,11 60,89	$Cd_м$ 42,12 57,88	$In_м$ 43,64 56,36	$Sn_м$ 45,62 54,38 $[Sn]_n^3$ 47,67 52.33	$Sb_м$ 48,96 51,04 $[Sb]_n^2$ 50,07 49,93	$[Te]_n^1$ 54,92 45,08	I_2 59,24 40,76
$Cs_м$ 18,59 81,41	$Ba_м$ 23,98 76,02	$La_м$ 30,15 69,85	$Hf_м$ 32,71 67,29	$Ta_м$ 35,64 64,36	$W_м$ 38,48 61,52	$Re_м$ 42,18 58,82	$Os_м$ 41,21 58,79	$Ir_м$ 43,69 56,31	$Pt_м$ 38,60 61,39	$Au_м$ 38,43 61,39	$Hg_м$ 41,13 58,84	$Tl_м$ 42,52 57,48	$Pb_м$ 44,98 55,02	$Bi_м$ 47,20 52,80	$Po_м$ 49,38 50,62	At_2 55,69 44,31

Рис. 4. Левая сторона «ХТ» СХСС в виде Периодической системы гомоядерных химических связей элементов и основных типов исходных металлических и неметаллических соединений и материалов их основе (О. С. Сироткин и др. [16, 30], *вариант 2010*)

Список литературы

[1] Материаловедение. Под ред. Б. Н. Арзамасова. М.: Машиностроение. 1986. Арзамасов Б. Н. и др. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 2002. – 648 с.
[2] Ржевская С. В. Материаловедение. Издание 2-е, стереотипное. М: МГТУ, 2000, 422с.; Материаловедение: Учеб. для вузов. – 4-е изд. – М.: Логос, 2004. – 424 с.
[3] Материаловедение. ТКМ. Под. ред. В. С. Чередниченко. М.: Омега-Л, 2007, 752с.
[4] Сироткин О. С. Введение в материаловедение (начала общего материаловедения). – Казань, КГЭУ, 2002; изд-е 2-е, доп-е, 2004. – 212 с.
[5] Сироткин О. С. Неорганические полимерные вещества и материалы (Безуглеродные макромолекулы и полимеры) – Казань: КГЭУ, 2002. – 288 с.
[6] Сироткин Р. О. Сироткин О. С. Структура металлических и неметаллических материалов. – Казань, КГЭУ, 2006. – 92 с.
[7] Сироткин О.С. Теоретические основы общего материаловедения. – Казань, КГЭУ, 2007. – 348 с.
[8] Сироткин О. С., Сироткин Р. О. Основы теоретического материаловедения. Казань, КГЭУ, 2010. – 300с.
[9] Сироткин О. С., Женжурист И. А. Электротехнические материалы (диэлектрики). Казань: КГЭУ, 2008. – 116 с.
[10] Сироткин О. С., Татаринцева Т. Б., Уваров В. И. Проводниковые и полупроводниковые материалы. Казань: КГЭУ, 2008. – 154 с.
[11] Сироткин О. С. Фундаментальные и методологические аспекты преподавания материаловедения как единой дисциплины о металлических и неметаллических материалах. Научные труды Всероссийского совещания материаловедов России. Ульяновск, УлГТУ, 2006. – С. 38–41.
[12] Сироткин О. С. Инновационные подходы в современном материаловедении. Сб. статей Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и ТКМ. Волгоград, ВолгГАСУ, 2007. – С. 18–21.
[13] Сироткин О. С. Проблемы и перспективы совершенствования образования в современных условиях. // Инновационное образование: проблемы, поиски, решения. Пленарные, обзорные доклады и программы IV международной науч.-метод. конф.; под ред. Ю. Я. Петрушенко. – Казань, КГЭУ, 2006. – С. 38–54.
[14] Сироткин О.С., Сироткин Р.О. Проблемы и перспективы фундаментализации и инновационного совершенствования преподавания современного материаловения как единой науки о металлах и неметаллах. // Инновационное образование: проблемы, поиски, решения. Материалы IV международной науч.-метод. конф.; под ред. Ю. Я. Петрушенко. – Казань, КГЭУ, 2006. – С. 35-39.
[15] Сироткин О. С., Сироткин Р. О., Трубачева А. М., Шибаев П. Б. Современное материаловедение. Казань: КГЭУ, 2009. – 68 с.
[16] Сироткин О.С. Основы инновационного материаловедения. М: ИНФРА-М. 2011. – 158 с.
[17] Антонец В. А. Жизненный цикл высокотехнологичного товара, Академия народного хозяйства при Правительстве РФ, Москва, 2001. – 310 с.
[18] Мнеян М. Г., Инновационный вызов времени, М., ИД «Сумма технологий», 2002. – 194 с.
[19] Сироткин О. С. Уровни строения вещества // Вестник Казанского технол. ун.-та, 1998, № 2. – С. 6–15.
[20] Сироткин О. С. Единство и различие химических связей и соединений // Известия ВУЗов. Химия и хим. технология. 1997, т. 40, в. 5. – С. 13–16.
[21] Сироткин О. С. Химия на своем месте. // Химия и жизнь. – 2003, № 5. – С. 26–29.
[22] Сироткин О. С. Об основном объекте химии и законе, определяющем его возникновение и превращение. Тез. докл. межвузовской науч.-метод. конф. – Казань: КГТУ, 1996. – С. 19–20.
[23] Сироткин О. С., Сироткин Р. О. Об оценке степени ковалентности (металличности) связи в металлоковалентных моно- и полимерных соединениях. Межвуз. тематич. сб. научн.

трудов «Строительные материалы на основе полимеров и неорганических вяжущих». – Казань: КИСИ, 1992. – С. 36-40.
[24] Сироткин О. С. Система химических соединений. Тез. докл. межд. конф. «Химическое образование и развитие общества», М, РХТУ, 2000, с.55.
[25] Сироткин О. С. Система химических связей. Тез. Докл. XVII Менд. Съезда по общей и прикладной химии. – Казань: ЦОП, 2003, т. 2. секц. А. – С. 256.
[26] Сироткин О. С. Система химических соединений (Фундаментальные основы современной химии и единой теории химических соединений). Вестник Казанского технологического университета. 2000, №1-2. – С. 190-198.
[27] Сироткин О. С. Химия на пороге XXI века (О месте химии в современном мире, индивидуальности и единстве её фундаментальных начал). – Казань: изд-во КГТУ, 1998. – 120 с.
[28] Сироткин О. С. Начала единой химии. – Казань, изд. АН РТ «ФЭН», 2003. – 252 с.
[29] Сироткин О. С., Сироткин Р. О., Трубачёва А. М. О необходимости и варианте учета металлической компоненты в гетероядерных связях // Журн. неорг. хим. – 2005, т. №1. – С. 71–75.
[30] Сироткин О. С., Сироткин Р. О., Иванова С. Н., Трубачева А.М . Анализ соотношения компонент гомоядерной связи элементов Периодической системы и разделение соединений на их основе на металлы и неметаллы // Технология металлов. – 2007, № 2. – С. 32–37.
[31] Сироткин О. С., Сироткин Р. О., Иванова С. Н., Шибаев П. Б., Калашников А. В., Трубачева А. М. Влияние изменения характера связи элементов электронно-ядерной структуры металлических и неметаллических материалов на основе гомоядерных соединений на их некоторые физические и деформационные свойства // Технология металлов. – 2007, № 3. – С. 32–37.
[32] Трубачева А. М. Металличность в гетероядерном взаимодействии элементов тонкой структуры материалов на основе бинарных соединений и их свойства. Автореф. … канд. техн. наук. – Казань, 2005. – 21 с.
[33] Иванова С. Н. Специфика гомоядерных связей элементов тонкой структуры материалов и ее влияние на некоторые свойства металлов. Автореф. … канд. техн. наук. – Казань, 2006. – 21 с.
[34] Шибаев П.Б. Особенности взаимодействия элементов тонкой структуры полимерных материалов и их физико-механические свойства. Автореф. … канд. техн. наук. – Казань, 2006. – 21 с.
[35] Сироткин Р. О., Калашников А. В., Сироткин О. С. Квантово-механическая оценка характера распределения электронной плотности гомоядерных связей различных модификаций железа и полимерных форм углерода // Технология металлов. – 2008, № 4. – С. 29–35.
[36] Сироткин О. С., Сироткин Р. О., Шибаев П. Б. Характер влияния специфики гомо- и гетероядерной химической связи на энергию межмолекулярного взаимодействия и свойства веществ // Неорганическая химия. – 2011, Т. 56, № 7. – С. 1-6.
[37] Сироткин О. С. Фундаментальные основы специфики природы и свойств наноструктурного уровня организации вещества // «Нанотехнологии. Экология. Производство». – 2011, № 5(12). – С. 102-107.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

С. В. Суслина, С. Я. Алибеков, П. В. Хапов

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет
Россия, 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3
e-mail: funnylana@mail.ru

В работе рассмотрена возможность электроискрового упрочнения и восстановления деталей с целью повышения эксплуатационных свойств. Приведено описание динамики процесса и переноса металла с катода на упрочняемую поверхность.
To article possibility of electrospark hardening and restoration of details for the purpose of increase of operational properties is considered. The description of dynamics of process and transfer of metal from the cathode on a strengthened surface is provided.

Ключевые слова: электроискровое упрочнение, легирование катод, технология переноса, твердые сплавы, температура металла.
Keywords: *electric-spark hardening, alloying cathode, technology transfer, firm alloys, metal temperature*

В настоящее время в мире сложилась особая ситуация. Изменились цели и задачи инновационных технологий – без основ фундаментальных исследований нельзя внедрять передовые разработки во всех отраслях промышленного производства. Актуальной становиться задача повторного использования материалов, не исчерпавших свой ресурс на переработку в новые изделия или восстановления их свойств.

Известно, что одним из самых эффективных способов повышения надежности деталей, конструкций машин механизмов и инструмента – формирование защитных покрытий на их поверхности. При разработке покрытий необходимо учитывать, что они должны обладать заданным набором свойств, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к режущим инструментам и деталям машин.

Одним из эффективных способов упрочнения поверхности является метод электроэрозионного легирования наружных и внутренних поверхностей деталей машин, режущего инструмента и нанесения токопроводящих покрытий. При этом в качестве напыляемого материала используются порошки, проволоки, прутки.

В данной работе представлены результаты электроэрозионного упрочнения режущих кромок деревообрабатывающих инструментов, изготовленных из конструкционных сталей. При деревообработке скорости резания большие, инструменты нагреваются, для отвода тепла их охлаждают, а при деревообработке их не охлаждают и при достижении критической температуры теряют свои свойства. Поэтому нанесение теплостойких покрытий на режущие кромки инструмента является актуальной задачей, позволяющей сэкономить дорогостоящие материалы и увеличить скорости обработки и срок службы без изменения свойств.

Для упрочнения режущих инструментов использовали установку UR-121. В качестве катодов применяли твердые сплавы ВК6, Т15К6, ВКС, С, Cu и их сочетание Cu-ВК6, Cu-Т15К6 и др. Это позволяет легко вводить в состав тугоплавкие соединения, обладающие высокой твердостью и значительно повышает износостойкость. Инструменты изготовили из конструкционных сталей 40, 45, 40Х, затем их подвергли упрочнению легированием с последующей термической обработкой: закалкой и отпуском. [1]

Твердость поверхностного слоя увеличилось на 14 – 20%, а по теплостойкости они идентичны твердым сплавам и при работе на высоких скоростях сохраняют свои свойства.

При электроискровом нанесении покрытий наблюдается образование различных дефектов: пористость, ухудшение микрорельефа и др. Одним из основных факторов, оказыва-

ющих влияние на возникновение указанных дефектов, является неблагоприятный фазовый состав эрозионного потока, формируемого катодным пятном. Так, осаждение жидких капель и твердых осколков обычно сопровождается образованием в покрытиях кратероподобных лунок. Степень и эффективность дефектообразования зависят от кинетической и тепловой энергии, массы и агрегатного состояния переносимых на поверхность частиц. Часть перенесенного материала диффундирует в поверхность основной упрочняемой стали, а часть образует на поверхности покрытие. Образование двух слоев на упрочненной поверхности режущего инструмента нами установлено металлографическим анализом.

Известно, что при электроискровом упрочнении из катодного пятна происходит выброс частиц в виде капель, обладающих различным запасом энергии. Распределение капель по скоростям находится в обратно пропорциональной зависимости от их массы и диаметра. Во время переноса капля изменяет свой размер и агрегатное состояние за счет процессов излучения и испарения. Поэтому на разных стадиях полета могут быть реализованы различные случаи взаимодействия, крайними из которых являются соударение жидкой и закристаллизовавшейся капли о твердую поверхность инструмента. Рассматривая отдельно эти процессы и учитывая роль электроискрового разряда на характер переноса капли жидкого металла мы видим, что подлетающие капельки находятся в перегретом состоянии, а часть в недогретом состоянии. [2]

Подлетающие к поверхности капли находятся в перегретом $T > T_к$ и недогретом состоянии $(T_п < T < T_к)$, где $T_п, T_к$ - температуры плавления и кипения металла, и в зависимости от размеров и скорости переноса капель процесс взаимодействия может быть упругим (отражение от упрочняемой поверхности), упруговязким (частичное отражение) и вязким (присоединение и диффузия капли к поверхности).

Температура в контакте оценивается по формуле:

$$T_c = T_o + (T_\rho - T_o)\frac{b}{1+b}, \qquad (1)$$

где T_ρ, T_o – температура жидкой частицы и поверхности;

$b = (\lambda_1\sqrt{a_1})/(\lambda_2\sqrt{a_1})$ – критерий тепловой активности;

λ – коэффициент теплопроводности;

a_1, a_2 – коэффициент температуропроводности капли и упрочняемой поверхности.

Численный расчет по формуле (1) при рассмотрении теплового взаимодействия при электроискровом напылении жидких частиц тугоплавких металлов на поверхность из менее тугоплавких показал, что процесс кристаллизации падающей капли сопровождается частичным оплавлением поверхности инструмента. При этом на покрытии образуется дефект в виде лунки проплава диаметром 0,5 – 1 мм. Согласно модели теплового взаимодействия расплавленных частиц с твердой поверхностью температура T_c поддерживается в контакте в течение времени t_o, необходимого для затвердевания частиц.

$$t_o = \left(\frac{h}{2a}\right)\frac{1}{a},$$

где h – высота частицы;

a – корень уравнения.

$$\frac{(T_п - T_2)\exp(-a^2)}{\sqrt{a_2/a_o}\,\lambda_o/\lambda_2 + \Phi(a)} - \frac{\sqrt{a_o/a_2}\,\lambda_2(T_1 - T_п)\exp\left(-a^2\frac{a_o}{a_1}\right)}{\lambda_o\left[1-\Phi\left(a\sqrt{a_o/a_1}\right)\right]1} = \frac{aL\sqrt{\pi}}{C_o},$$

где: C – теплоемкость; L – размер частицы. Индексы соответствуют 0 – закристаллизовавшаяся часть капли; 1 – жидкая часть капли; 2 – материал изделия.

Время растекания капли, имеющий диаметр d и скорость υ подлета частицы к поверхности изделия оценивается по формуле:

$$t = \frac{d-h}{\upsilon}$$

и составляет величину порядка t_o. Для перегретой капли возможна задержка взаимодействия с поверхностью стали. Тогда с учетом межфазной энергии и релаксации:

$$t' = t\exp\left|\frac{(E_s - E_l)}{2RT}\right|,$$

где: E_s, E_l – энергия активации диффузии элемента в твердой и жидкой фазах;

R – постоянная Больцмана.

Известно, что оценки t' в ряде случаев плазменного осаждения дают величину $10^{-5} - 10^{-4}$сек. Если отсутствует контакт жидкой и твердой фазы, необходимой длительности, то на этой стадии образование соединения между упрочняемой поверхностью и переносимой каплей затруднено. [3] В результате наложения виброинструмента на поверхность с частотой $10^5 - 10^6$ Гц при контакте на поверхности оксидной капли распространяются капиллярные волны с частотой

$$\nu = \nu_s\sqrt{\rho}\,f^2/8\pi\sigma,$$

где: σ – коэффициент поверхностного натяжения;

ρ – плотность жидкого металла;

f, ν – частота и скорость вибраций.

Если амплитуда вибратора давления превосходит некоторую пороговою величину P_c, то во время полупериодов разряжения возникает кавитационные пузырки на так называемых кавитационных зародышах. Величина критического давления оценивается соотношением:

$$P_c \cong P_o + \frac{2}{3\sqrt{3}}\sqrt{\frac{2\sigma/r}{\rho + 2\rho r}},$$

где: P_c, P_o – акустическое, гидростатическое давления;

r – размер зародыша.

Кавитационный порог понижается при уменьшении гидростатического давления, частоты вибрации на турборежиме и увеличении длительности процесса обработки. На указанных зародышах возникает процесс объемного парообразования, который может сопровождаться интенсивным выбросом вещества капли разбрызгиванием.

Таким образом, при наложении колебаний вибратора на поверхность возможна интенсификация процессов упругого взаимодействия налетающей капли с упрочняемой поверхностью, что способствует улучшению качественных характеристик напыляемых поверхностей.

При рассмотрении взаимодействия закристаллизовавшейся в полете частицы с упрочняемой поверхностью, то по общепринятым представлениям прочность сцепления в контакте определяется из условия полноты протекания по химической реакции:

$$\frac{dx}{dt} = (N_0 - n)\nu_o \exp\left(\frac{E_a}{E}\right)\exp\left(\frac{S}{R}\right),$$

где: n – число атомов, прореагированных за время t;

N_0 – количество атомов на поверхности контакта, находящегося в физическом взаимодействии;

ν_0 – частота свободных колебаний атомов;

S – конфигурационная энтропия.

Таким образом, представленный качественный анализ позволяет сделать вывод о возможности получения качественных покрытий на поверхности упрочняемых материалов, повышении теплостойкости, износостойкости режущих кромок и получении высоких механических свойств. Установлено, что применение металлокерамических сплавов для восстановления изношенных деталей позволяет повысить механические свойства на 20%, теплофизические на 25% и износостойкость на 30%.

Список литературы

[1] Повышение эксплуатационных свойств деревообрабатывающего инструмента методом электроискрового легирования / П.В. Хапов, С.В. Суслина // *Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева.* 2011, № 4. С. 50–53.
[2] Клубович В.В., Егоров В.Д., Дубровский А.А., Батвинков В.И., Литвинов А.А., *Исследование влияния ультразвуковых колебаний на процесс формирования ионно-плазменного покрытия.* – Ж : Физика и химия обработки металлов. 1990, № 3. С. 53-59.
[3] Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Сайдахмедов Р. Х. *Ионно-плазменное нестехиометрические покрытия на основе нитридов и карбидов переходных металлов.* М.: изд-во МАИ-ПРИНТ. 2011. 220 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОК ТИТАНАТА БАРИЯ СТРОНЦИЯ ДЛЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ

Сушенцов Н. И., Филимонов В. Е., Мороз А. В.

Марийский государственный технический университет
Российская федерация, 424000, Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: sni@mail.ru

Представлены конструктивные особенности установки ВЧ-магнетронного распыления для формирования тонких пленок титаната бария стронция. Приведены экспериментальные результаты полученные на модернизированной установке.
The structural peculiarities of RF- magnetron sputtering unit for made barium strontium titanate films and experimental results is obtained by modernized unit is presented.

Введение. Пленки титаната бария стронция имеют некоторые преимущества, по сравнению с полупроводниковыми и ферритовыми материалами, для использования их в качестве активных слоев в интегральных фазовращателях СВЧ сигнала. Это их нелинейные свойства, быстродействие, при воздействии униполярных импульсов напряжения, высокую относительную диэлектрическую постоянную ($\xi \approx 1000$), низкие диэлектрические потери ($tg\delta < 0{,}02$) [1]. В последнее время все более широко для получения тонких пленок титаната бария стронция используют технологические процессы, основанные на воздействии высокоэнергетичных частиц и электромагнитных полей на обрабатываемый материал [2-11]. Эти процессы могут быть реализованы с помощью методов ионно-плазменного распыления, и, прежде всего, – магнетронной системы ионного распыления. Одним из наиболее перспективных для создания тонких плёнок является метод высокочастотного (ВЧ) ионного распыления. Преимущество этого метода состоит в возможности получения кристаллических плёнок с заданными параметрами без их последующего отжига. Развитие применения методов ионно-плазменного распыления для получения многокомпонентных тонких пленок стехиометрического состава сегодня представляет значительный интерес, поскольку другие методы, например, молекулярно-лучевая эпитаксия и лазерное испарение, хотя и обладают достаточной точностью воспроизведения стехиометрического состава, однако малопроизводительны

и неприемлемы для промышленного использования. С другой стороны, такие высокопроизводительные методы, как, например, химическое осаждение из газовой фазы, обладают значительным разбросом стехиометрических параметров многокомпонентных тонких пленок, такие методы экологически вредны. Всех перечисленных недостатков позволяют избежать методы ионно-плазменного распыления. Операции нанесения пленок при этом производятся в вакууме и не требуют утилизации токсических веществ, что благоприятно для экологической безопасности производства.

Однако получаемые пленки не обладают достаточной стабильностью параметров. Поэтому исследования технологии получения тонких пленок титаната бария стронция с заданной стехиометрией, формируемых с помощью ионно-плазменного распыления, становятся актуальным направлением. Повышение равномерности распределения кристаллических, электрофизических свойств пленок будет обеспечиваться за счет задания особым образом конструктивно-технологических параметров процесса ионно-плазменного распыления многокомпонентной мишени и управления газовыми потоками с высокой точностью.

Экспериментальная часть. ***Описание установки.*** Была модернизирована установка магнетронного распыления УРМ3.279.014 (рис. 1). Установка содержит два несбалансированных магнетрона. Особенностью конструкции является кольцевой CoSm магнит, вместо набора периферийных магнитов, что позволяет сформировать магнитное поле нужной конфигурации и величины Первый магнетрон работает на ВЧ (13,56 МГц, 1 кВт) и позволяет распылять керамические и металлические мишени, в. т.ч. реактивным распылением. Второй магнетрон работает на средней частоте (20–30 кГц, 3 кВт) или постоянном токе, и служит для распыления металлических мишеней, в т.ч. реактивным распылением. Это позволяет в одном технологическом цикле получать многослойные структуры.

Реактивное распыление характеризуется простотой формирования пленок оксидов, нитридов высокого качества и легкостью контролирования их стехиометрического состава, путем изменения парциального давления реактивного газа. Поэтому возникает задача повышения точности управления газовыми потоками. Она решалась путем установки цифрового вакуумметра и натекателя. Натекатель предназначен для поддержания заданного давления в вакуумной камере с точностью 20 % и пропорции газов с точностью 1 %. Прибор имеет два канала регулирования расхода газа подаваемого в вакуумную камеру.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Пленки БСТ формировались на подложках из стекла К-8 путем распыления керамического диска $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$. Осаждение проводилось при разных условиях: давление газа (20 % кислорода, 80 % аргона) 1 и 2 Па, подводимая ВЧ-мощность – 200, 300 Вт. Расстояние мишень – подложка: 70 мм. Распыление велось циклами: 1 минута распыления с последующей минутой охлаждения. Пассивный нагрев подложки составил 300 ºС. Время распыления составляло 120 минут. Скорость распыления составила примерно 9 нм/мин. На рисунках представлены АСМ изображения поверхности пленок (рис. 2), сделанные с помощью сканирующего зондового микроскопа ИТЕГРА Прима.

Из анализа рисунков следует, что при уменьшении подводимой к магнетрону мощности размер зерен на поверхности пленки с 80-100 нм (рис. 2, а,б) уменьшается до 2–4 нм. (рис.2, в, г).Это можно объяснить тем, что при низких температурах наблюдается глобулярный рост пленки, с ровной поверхностью, тогда как при повышении температуры пленка начинается огранка глобул и текстуризация пленки. При уменьшении давления рабочего газа размер зерен уменьшается незначительно со 100 до 60 нм (рис. 2, а, б).

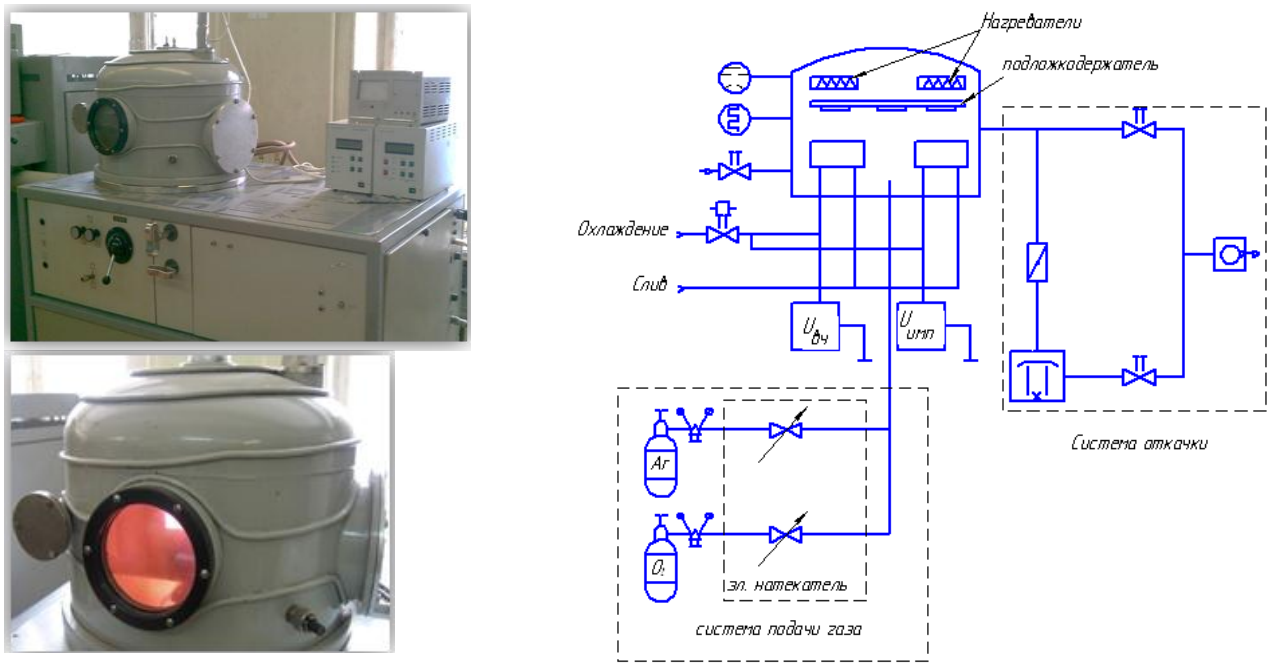
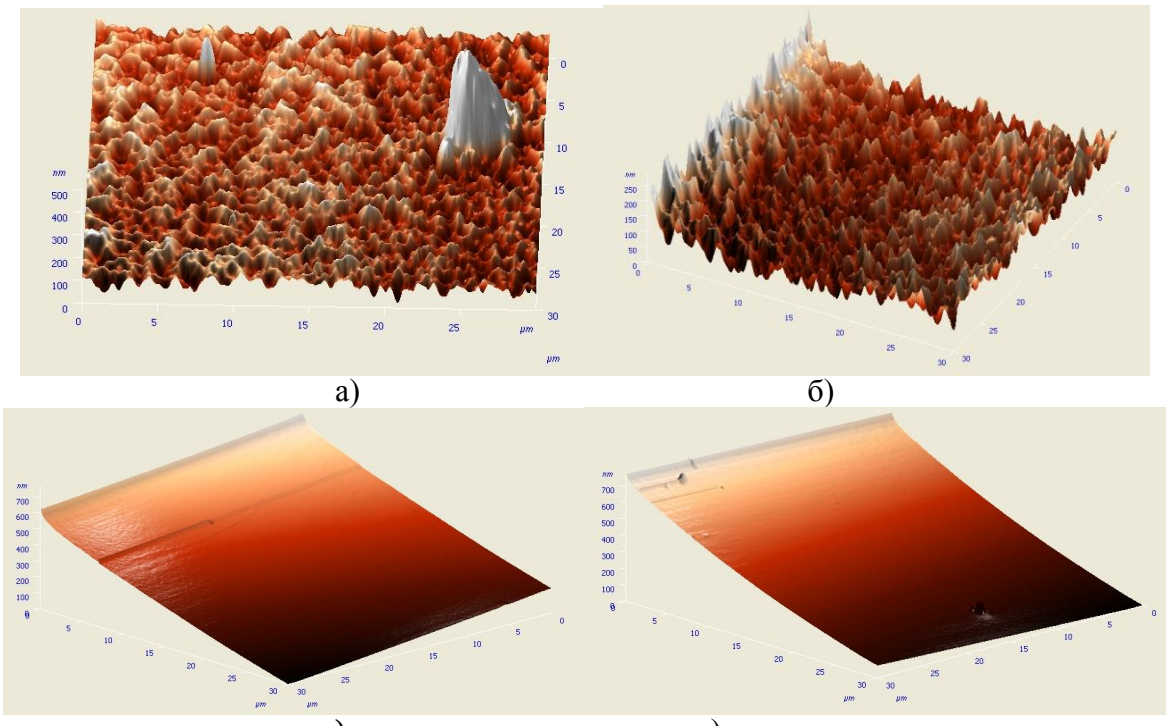


Рис. 1. Комбинированная схема и внешний вид установки



а) б)

в) г)

Рис. 2. Строение (АСМ) поверхности пленки $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$, сформированной на стекле К-8 при режимах: а) Мощность 300 Вт, давление газа 1 Па; б) Мощность 300 Вт, давление газа 2 Па; в) Мощность 200 Вт, давление газа 1Па; г) Мощность 200 Вт, давление газа 2 Па.

Заключение. Модернизированная установка ВЧ-магнетронного распыления благодаря особой конфигурации магнитной системы магнетрона обладает высокой скоростью формирования диэлектрических пленок с атомарно гладкой поверхностью, в том числе на аморфных подложках.

Список литературы

[1] Козырев А.Б., Иванов А.В., Солдатенков О.И., Тумаркин А.В., Разумов С.В., Айганов С.Ю., 60GHz фазовращатель на основе (Ba,Sr)TiO3 сегнетоэлектрической пленки // Пиьма в ЖТФ, 2001, т.27 вып. 24, С. 16-21
[2] Тумаркин А.В. Михайлов А.К. Алтынников А.Г. Влияние температуры осаждления на структурные и электрофизичаеские св-ва тонких пленок ТБС // письма в ЖТФ, 2008, т. 34, вып. 18. С. 14-19.
[3] Смирнова Е.П. Сотников А.В. Пироэлектрические и упругие свойства в области фазового перехода в твердых растворах на основе магногиобата свинца и титаната бария. //Физика твердого тела, 2006, т. 48, вып. 1 С. 95-98.
[4] Караменко С.Ф., Дедык А.И., Исаков Н.Н., Сахаров В.И., Серенков Н.Н., Серенков И.Т., Тер-Мартиросян Л.Т., Компонентный состав и диформационные напряжения сегнетоэлектрических пленок ТБС // Письма в ЖТФ, 1999, т.25, вып. 19, С. 50-60.
[5] Разумов С.В., Тумаркин А.В., Саса М.В., Гагарин А.Г., Электрофизические свойства тонких пленок ТБС выращенных на подложках диоксида кремния.// Письма в ЖТФ, 2003, т.29, вып. 5, С. 1-7.
[6] Мухортов В.М, Колесников В.В., Головко Ю.И., Бирюков С.В, Маматов А.А., Юзюк Ю.И., Геометрические эффекты в наноразмерных эпитаксиальных пленках ТБС// ЖТФ, 2007 т.77, вып. 10 С. 97-102.
[7] Мигунов С.Н., Волков А.А., Командин Г.А., Лобанов А.Н., Головко Ю.И., Мухортов В.М, Юзюк Ю.И., Диэлектрические свойства пленок ТБС нанометровой толщины// ЖТФ, 2008, т.78, вып. 11 С. 99-103.
[8] Мухортов Вас.М., Масычев С.И., Головко Ю.И., Чуб А.В., Мухортов В.М., Применение наноразмерных пленок ТБС Для перестраиваемых сверхвысокочастотных устройств. // Журнал технической физики, 2006, т.76, вып.10, С.106-109.
[9] Mishina, Sherstyuk N.E., Zaitsev A.A Mukhortov V.M., and Sigov A.S.Switchable Nonlinear Two-Dimensional Ferroelectric Photonic Crystal// BULLETIN OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: PHYSICS, 2007, Vol. 71, No. 10, P. 1388-1391.
[10] Pervez N.K., Hansen P.J., and York R.A. High tunability barium strontium titanate thin films for rf circuit applications //APPLIED PHYSICS LETTERS, 2004, VOLUME 85, NUMBER 19, P. 4451-4453.
[11] Jayesh Nath, Wael M. Fathelbab, Peter G. Lam, Dipankar Ghosh, Seymen Aygün, Kevin G. Gard, Member, J.-P. Maria, Angus I. Kingon, and Michael B. Steer. Discrete Barium Strontium Titanate (BST) Thin-Film Interdigital Varactors on Alumina: Design, Fabrication, Characterization, and Applications//IEEE, 2006, 0-7803-9542-5/06, P. 552-555.

IV. «ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ И БИОТЕХНОЛОГИИ»

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

С. П. Богатых, Е. В. Любовцева, Л. А. Любовцева

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары

При исследовании влияния выбросов газокомпрессорной станции найдено, что увеличивается заболевание детей с диагнозом тонзиллит и/или гипертрофия небных миндалин, а также наблюдается изменения в анализах крови.

Ключевые слова: ТК – тучные клетки, КА – катехоламины, С – серотонин, у.е. – условные единицы, МАО – моноаминооксидаза, АХ – ацетилхолин, ГКС – газокомпрессорная станция

1. Введение. Литературные данные показывают, что у работников ГКС имеет место нарушение функции внешнего дыхания и механизмов адаптации к неблагоприятным производственным условиям и факторам внешней среды. В результате возникала необходимость более подробного изучения механизма данного процесса в наблюдаемом районе. Кроме того, имеются источники, указывающие на влияние выбросов газокомпрессорной станции на показатели крови. Происходит увеличение числа лимфоцитов, возникают заболевания органов дыхания.

По данным Госсанэпиднадзора Чувашской Республики удельный вес промышленных выбросов в атмосферный воздух в процентном отношении на территории Красноармейского района составляет 17,1%, что практически тождественно выбросам территории г. Чебоксары (17,0%) и занимает первое место по республике. Удельный вес выбросов на единицу поверхности составляет 61,1 т/км^2. В то время как на автотранспорт приходится лишь от 5 до 13,9% (1994-1996 г.) выбросов. Следует отметить, что газокомпрессорная станция (ГКС) является единственным предприятием в районе.

2. Цель и задачи исследования. Целью данного исследования изучение влияния выбросов газокомпрессорной станции на первичную заболеваемость органов дыхания и показатели крови. Задачами настоящего исследования являются:

1. Изучение общей и первичной заболеваемости органов дыхания у жителей данного района до и после ввода в эксплуатацию газокомпрессорной станции.
2. Обследование детей в возрасте от 7 до 14 лет и изучение амбулаторных карт в населенных пунктах, находящихся в наветренной и подветренной стороне относительно расположения газокомпрессорной станции.
3. Определение изменений в общем анализе крови и количественных соотношений иммуноглобулинов в крови лабораторных животных после затравки выбросами газокомпрессорной станции на разных этапах воздействия.

3. Материалы и методы исследования. Были исследованы показатели общей и первичной заболеваемости хроническими тонзиллитами, бронхитами. Исследования велись в периоды 1985, т.е. до введения в эксплуатацию газокомпрессорной станции, с 1986 по 1995 гг. – десятилетие работы ГКС, и с 1996 по 2006 г. – двадцитилетие работы ГКС. Далее полученные нами данные сравнивались со средне республиканскими значениями. На основании розы ветров выбрали два населенных пункта, одинаково удаленных от ГКС, находящихся в наветренной и подветренной стороне относительно газокомпрессорной станции, и осмотрели живущих в них 100 практически здоровых детей. Кроме того, изучили по 150 амбулаторных карт детей в возрасте от 7 до 14 лет с целью выявления детей с диагнозом тонзиллит и/или гипертрофия небных миндалин, а также – изменения в анализах крови. Обследование детей

состояло из общего осмотра, сбора анамнеза жизни. Изучали лейкоцитарную формулу в эксперименте на крысах при воздействии разными дозами затравки (0,1 ПДК, 1 ПДК, 10 ПДК).
1. Окраска по Рамоновскому-Гимза мазков крови для подсчета лейкоцитарной формулы у детей. Кроме этого, было проведено лабораторное исследование крови лабораторных животных:
2. Исследование общего анализа крови на гемометре;
3. Исследовали фракции иммуноглобулинов.

4. Результаты и их обсуждение. Нами изучалась структура общей и первичной заболеваемости органов дыхания в Красноармейском районе до и после строительства ГКС. Село Алманчино находится на наветренной стороне относительно ГКС, а село Караево на наветренной стороне относительно ГКС.

Изучая 150 амбулаторных карт детей в возрасте от 7 до 14 лет и при непосредственном осмотре выявили, что в с. Алманчино у 11% детей наличествует гипертрофия небных миндалин, а в с. Караево – у 5%. Согласно данным амбулаторных карт диагноз хронический тонзиллит и/или гипертрофия небных миндалин в два раза чаще встречался у детей в с. Алманчино, находящееся на наветренной стороне относительно ГКС (рис. 1, 2) .



Рис. 1. Отношение числа детей с диагнозом «Гипертрофия небных миндалин» к числу здоровых детей, осмотренных в населенном пункте, находящемся с наветренной стороны относительно ГКС (с. Алманчево)

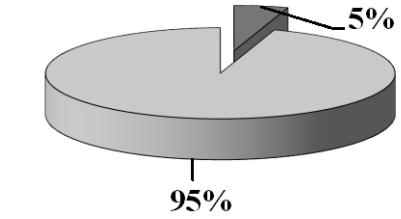


Рис. 2. Отношение числа детей с диагнозом «Гипертрофия небных миндалин» к числу здоровых детей, осмотренных в населенном пункте, находящемся в подветренной стороне относительно ГКС (с. Караево)

Наибольшие изменения были отмечены в структуре общей и первичной заболеваемости при хронических бронхитах и тонзиллитах. Установлено, что общая заболеваемость хроническими тонзиллитами выросла по сравнению с предыдущими годами в 4 раза, а со средне республиканскими значениями – в 1,7 раз. В то время как первичная заболеваемость бронхитами выросла соответственно в 3,5 и 2,2 раза ($p<0,001$) (табл. 1, 2). Анализ лейкоцитарных формул показал, что в с. Караево, параллельно с увеличением числа лимфоцитов, повышаются все остро-фазовые показатели, что, возможно, говорит о наличии острой инфекции, в то время как в с. Алманчино наблюдается уменьшение числа моноцитов и увеличение общего числа лимфоцитов на фоне нормальных показателей крови. При анализе результатов лейкоцитарной формулы крыс можно видеть, что число эозинофилов, начиная с 1 ПДК, увеличивается в 2 раза. При 0,1 ПДК происходит сдвиг лейкоцитарной формулы влево, при этом резко снижается число моноцитов и увеличивается число лимфоцитов на 5 единиц. При затравке природным газом в 1 ПДК резко снижается число палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, и растет число лимфоцитов. При 10 ПДК снова увеличивается число юных нейтрофилов, но остаются сниженным число палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов, число моноцитов еще более снижается, а число лимфоцитов нарастает.

Таким образом, при затравке природным газом с повышающимся ПДК нарастает число эозинофилов, происходит сдвиг лейкоцитарной формулы влево, наблюдается монопения и лимфоцитоз.

При рассмотрении всех изучаемых иммуноглобулинов можно сказать, что после затравки природным газом в 0,1 ПДК в плазме крови больше всего увеличивается иммуногло-

булин М. При затравке природным газом в 1 ПДК в плазме крови незначительно увеличиваются концентрации всех трех иммуноглобулинов. При затравке природным газом в 10 ПДК в плазме крови остается увеличенным иммуноглобулин М, а все остальные иммуноглобулины снижаются, но остаются несколько выше нормы (табл. 4). При изучении поведения каждого из иммуноглобулиновых фракций, после затравки природным газом, показатели Ig G имеют тенденцию к повышению на 0,5 после затравки газом в 1 ПДК и таковым остаются и при затравке 10 ПДК. Показатели Ig A имеют тенденцию к повышению уже после затравки газом в 0,1 ПДК и постепенно нарастают к затравке в 10 ПДК.

Таблица 1

Показатели первичной заболеваемости органов дыхания по Красноармейскому району в сравнении со средне республиканскими значениями до и после строительства газокомпрессорной станции в с. Караево

Заболевания органов дыхания	1985 гг.		1997-2007 гг.	
	В среднем по району	Средне-республиканские показатели	В среднем по району	Средне-республиканские показатели
Хронические фарингиты и синуситы	0,64	1,2	0,79	1,3
Хронические заболевания миндалин	0,99	1,4	3,74	1,6
Пневмонии	2,89	3,8	3,06	2,8
Хронические бронхиты	2,96	1,93	2,11	1,7
Бронхиальная астма	0,1	0,08	0,13	0,1

Примечание: здесь и далее приведены средне-арифметические показатели

Таблица 2

Показатели общей заболеваемости органов дыхания по Красноармейскому району в сравнении со средне республиканскими значениями до и после строительства газокомпрессорной станции в с. Алманчиво

Заболевания органов дыхания	1976-1986 гг.		1997-2007 гг.	
	В среднем по району	Средне- республиканские показатели	В среднем по району	Средне- республиканские показатели
Хронические фарингиты, синуситы	1,84	4,6	1,5	4,5
Хронические заболевания миндалин	2,11	5,7	8,59	5,5
Пневмонии	3,5	4,9	3,49	5,1
Хронические бронхиты	13,4	18,22	21,56	29,23
Бронхиальная астма	0,45	1,04	0,99	1,45
Рак легких		20,28	3,36	28,78

Таблица 3

Лейкоцитарная формула крыс после затравке природным газом с различными ПДК

ПДК	Эозинофилы	Юные н.	Палочки	Сегменты	Моноциты	Лимфоциты
Инт	3	2,85	9	20,5	9,15	55,5
0,1	2,85	8	12	13	3,6	60,55
1	5,7	3	2,85	12,8	4,85	71,3
10	5,7	6.3	5	8	2,5	72,5

Таблица 4

Содержание иммуноглобулиновых фракции в плазме крови после затравки природным газом

Средний показатель числовых значений иммуноглобулинов	G	A	M
Контрольная группа	7,5	7,2	7,2
1 группа 0,1 ПДК	7,5	7,4	7,9
2 группа 1 ПДК	8	7,9	7,8
3 группа 10 ПДК	8	7,76	7,4

Показатели Ig M после затравки газом в 0, 1 ПДК повышаются на 0,7, а далее постепенно снижаются и к затравке в 10 ПДК приближаются к норме, но остаются несколько выше нормальных показателей.

Выводы

После строительства ГКС на территории Красноармейского района Чувашской Республики наблюдается рост некоторых показателей общей и первичной заболеваемости органов дыхания (хронический бронхит и хронический тонзиллит)

При обследовании детей и анализе амбулаторных карт населенного пункта, находящегося на наветренной стороне относительно ГКС, было выявлено, что диагноз хронический тонзиллит встречается в 2 раза чаще у детей, проживающих на наветренной стороне относительно ГКС, чем в населенном пункте на подветренной стороне.

В эксперименте после затравки природным газом наблюдаются изменения, как в лейкоцитарной формуле, так и в иммуноглобулиновых фракциях.

Список литературы

[1] Репина В.П. Механизмы влияния КА на регуляцию иммунного гомеостаза // Автореф. … канд. мед. наук. – Архангельск, 2008. – 18 с.
[2] Cross S.A.M., Ewen S.W.B. A Sindi of methods available for the cytochemical localization of histamine by fluorescence induced with o-phthalaldehyde or acetaldehyde // J. Hestochem. – 1971, № 6. – S. 471-476.
[3] Nomori H., Mori et al. Atypical thymoma (WHO B3) with neuroendocrine differentiation: report of a case / Orikasa H. // Virchows Arch. – 2006, V. 449, № 2. – P. 234-237.

КОРРЕКЦИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТАТУСА НАДПОЧЕЧНИКОВ У ПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ С УЧЕТОМ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧУВАШСКОГО ЮГО-ВОСТОКА И ЦЕНТРА

А. Д. Блинова, М. Н. Лежнина, А. А. Шуканов

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», г. Чебоксары
alen_13@pochta.ru

Онтогенетические особенности морфофизиологического состояния надпочечников у хрячков и боровков обусловлены применением биопрепаратов соответственно «Трепел» и «Трепел» совместно с «Суваром» с учетом биогеохимического своеобразия Юго-Востока и Центра Чувашской Республики.

1. Введение. Известно, что гормонам коры надпочечников принадлежит огромная роль в становлении и сохранении гомеостаза. Надпочечники являются одним из основных звеньев системы адаптации, принимающие участие в опосредовании острых и хронических стрессорных нейроэндокринноиммунных реакций на повреждение [1], [2], [3], [4]. Поэтому особый интерес представляет исследование структурно-функциональных изменений в надпочечниках при назначении биогенных соединений, вызывающих метаболические и иммунофизиологические эффекты.

В связи с этим **целью** исследований является изучение особенностей динамики морфофизиологического статуса надпочечников у хрячков и боровков в постнатальном онтогенезе, содержащихся соответственно в Юго-Востоке и Центре Чувашской Республики при использовании «Трепела» и «Трепела» в комплексе с «Суваром».

2. Материал и методика исследований. Проведены две серии научно-хозяйственных опытов и лабораторных экспериментов с использованием 40 поросят-сосунов, для чего их подбира-

ли по принципу аналогов с учетом клинико-физиологического состояния, породы, возраста, пола, живой массы по 10 животных в каждой группе.

Хрячков обеих групп с 2- до 59-дневного возраста выращивали вместе с подсосными свиноматками. Затем после кастрации боровков первой группы (контроль) с 60- до 300-дневного возраста (продолжительность исследований) содержали на основном рационе (ОР); животным второй группы в первой серии опытов (Юго-Восток Чувашии) на фоне ОР ежедневно скармливали «Трепел» в дозе 1,25 г/кг массы тела (м. т.) до конца исследований, а во второй серии (Центр) – «Трепел» в указанной выше дозе совместно с «Суваром» из расчета 25-50 мг/кг (м. т.) в течение каждых 20 дней с 10-дневными интервалами до 240-дневного возраста.

В ходе опытов у 5 животных из каждой группы на 2-, 15-, 60-, 240- и 300-й день жизни (соответственно периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания, физиологического созревания) изучали морфометрические показатели структур надпочечников (масса и ширина зон органов, площади их ядер и клеток, ядерно-цитоплазменное отношение) по общепринятым в гистологии современным методам.

3. Результаты исследований и их обсуждение. В первой серии опытов при анализе характера изменений морфофизиологического статуса надпочечников, выявлено, что их масса у хрячков и боровков сравниваемых групп закономерно увеличивалась в возрастном аспекте от 0,32±0,01–0,34±0,01 до 6,10±0,02–6,39±0,03 г. Причем у 240- и 300-дневных животных опытной группы она была больше таковой их контрольных сверстников на 0,27–0,29 г ($P<0,05$).

Динамика ширины коркового вещества в основном соответствовала характеру изменений массы надпочечников, которая увеличивалась по мере взросления подопытных животных (0,70±0,01–0,72±0,01 против 1,52±0,02−1,71±0,05 мм). При этом отмечено ее превышение у 240-ти и 300-дневных опытных боровков, содержащихся при скармливании биогенного вещества «Трепел», по сравнению с контрольными значениями соответственно на 0,09 мм и 0,19 мм ($P<0,05$).

Если у контрольных животных площадь ядер коркового вещества волнообразно уменьшалась к 300-дневному возрасту от 19,0±0,87 до 18,9±1,25 мкм^2, то у сверстников второй группы, наоборот, данный показатель медленно увеличивался (18,7±0,81 против 20,8±0,97 мкм^2). Площадь клеток изучаемого вещества у подопытных животных в связи с взрослением неуклонно повышалась от 45,7±2,14–45,4±2,95 до 83,3±0,99−86,8±1,06 мкм^2. При этом у 240-дневных боровков второй группы отмечено ее превышение на 10,3% ($P<0,01$) по отношению к контрольному значению. Установлено, что ядерно-цитоплазменное отношение (ЯЦО) у исследуемых животных волнообразно уменьшалось в течение экспериментов (0,7±0,01–0,7±0,02 против 0,3±0,01–0,3±0,03) и различие в нем было статистически недостоверным во все сроки исследований. Выявлено, что ширина клубочковой зоны коры исследуемой железы у свиней обеих групп постепенно увеличивалась от начала опытов к их концу (0,09±0,01–0,10±0,01 против 0,20±0,01–0,24±0,01 мм).

Площади ядер и клеток изучаемой зоны у подопытных животных волнообразно увеличивались к 300-дневному возрасту соответственно от 17,2±0,83–17,0±0,87 до 19,0±1,68−21,7±0,72 и от 38,0±2,03–37,5±3,36 до 69,4±0,63−72,7±1,17 мкм^2.

Отмечено, что ЯЦО у животных сравниваемых групп зигзагообразно уменьшалось по мере их взросления (0,8±0,01–0,8±0,03 против 0,4±0,01–0,4±0,03; $P>0,05$). Установлено, что ширина пучковой зоны коркового вещества надпочечников у животных интактной и опытной групп постепенно увеличивалась от начала к концу исследований от 0,48±0,01–0,50±0,02 до 0,73±0,04–0,76±0,04 мм без достоверной разницы во все сроки исследований.

Следует отметить, что площадь ядер пучковой зоны у изучаемых хрячков и боровков волнообразно уменьшалась в возрастном аспекте (20,0±0,69–20,2±0,66 против 19,8±0,91–22,6±0,95 мкм^2). При этом площадь ее клеток, напротив, неуклонно увеличивалась 44,9±2,72–

45,0±1,17 до 93,9±0,92–98,7±0,95 мкм^2. Если разница в площади ядер изучаемой зоны у животных сравниваемых групп во все сроки исследований была недостоверной, то площадь клеток в 240-, 300-дневном возрасте свиней опытной группы достоверно превышала контрольные показатели. Выявлено, что ЯЦО у подопытных животных в процессе их роста уменьшалось от 0,8±0,01–0,8±0,03 до 0,3±0,01–0,3±0,03 (P>0,05).

Ширина сетчатой зоны коркового вещества также неуклонно увеличивалась по мере взросления исследуемых животных (0,12±0,02–0,13±0,02 против 0,59±0,01–0,71±0,03 мм; P>0,05). Иная закономерность установлена в динамике площади ядер этой зоны изучаемой железы, которая неизменно уменьшалась в возрастном аспекте от 19,2±0,88–19,7±1,13 до 17,9±1,15–18,2±1,24 мкм^2. Площадь клеток сетчатой зоны, наоборот, с 2- до 300-дневного возраста постепенно увеличивалась (53,9±2,77–54,1±3,21 против 86,7±1,41–89,1±1,06 мкм^2). Характер изменений ЯЦО клеток изучаемой зоны у подопытных животных всецело соответствовал динамике площади ядер.

Отмечено, что ширина мозгового вещества надпочечников увеличивалась в связи с взрослением подопытных животных (0,86±0,02−0,91±0,02 против 1,74±0,04−1,85±0,03 мм), различие в которой у 300-дневных боровков второй группы было достоверно выше контрольного значения. Другая закономерность выявлена в динамике площади клеток исследуемого вещества, которая от 2-х до 300-дневного возраста свиней обеих групп увеличивалась от 42,0±0,26−42,5±0,99 до 90,3±1,23−91,7±0,68 мкм^2. Площадь ядер и ЯЦО мозгового вещества изучаемой железы по мере взросления животных контрольной и опытной группы, наоборот, уменьшались (18,0±1,06−18,2±0,91 против 15,6±0,99−16,0±0,70 мкм^2 и 0,7±0,03− 0,7±0,05 против 0,2±0,02−0,2±0,05 соответственно). Оценка данных макро- и микроморфологии надпочечников у контрольных животных в онтогенетическом разрезе показала, что масса железы за периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания и физиологического созревания соответственно увеличивалась на 67,3, 40,2, 72,5 и 2,1 %. Отсюда следует, что максимальный их рост имел место в период новорожденности и полового созревания, а минимальный – физиологического созревания.

Аналогичная закономерность имела место в динамике ширины коркового вещества, которая увеличивалась от фазы новорожденности к концу периодов молочного типа кормления и полового созревания соответственно на 27,3 и 11,8 % (P<0,05–0,001). Такие же онтогенетические особенности были присущи характеру изменений ширины клубочковой, пучковой и сетчатой зон коры надпочечников.

Иная закономерность выявлена в динамике площади ядер коркового вещества, которая, напротив, волнообразно изменялась по мере взросления животных интактной группы с уменьшением в 15-, 240-дневном возрасте на 13,2, 12,0 % и увеличением в 60-, 300-дневном на 5,7, 18,5 % соответственно. Площадь клеток коркового вещества у хрячков и боровков в изучаемые периоды постнатального онтогенеза увеличивалась соответственно на 13,9, 21,4, 9,3 и 10,6 % (P<0,05–0,001). Другая закономерность была обнаружена в характере колебаний ЯЦО, которое было наименьшим к концу периода полового созревания.

Онтогенетические особенности динамики площадей ядер и клеток, а также ЯЦО клубочковой, пучковой, сетчатой зон в целом соответствовали характеру изменений данных морфометрических параметров коркового вещества надпочечников. Установлено, что у животных как в раннем постнатальном онтогенезе (периоды новорожденности и молочного типа кормления), так и в последующие его периоды (полового созревания и физиологического созревания) ширина мозгового вещества надпочечников увеличивалась незначительно (0,91±0,02 против 0,98±0,03 мм и 1,46±0,05 против 1,74±0,04 мм).

Площадь ядер мозгового вещества в постнатальном онтогенезе мозаично изменялась, которая была максимальной в периоды новорожденности (25,3%) и молочного типа кормления (25,7%), а минимальной – в периоды полового (7,1%) и физиологического созревания

(8,2%). Отмечено, что если площадь клеток изучаемого вещества от периода новорожденности к концу периода молочного типа кормления увеличилась на 20,0% (42,5±0,99 против 53,1±0,83 мкм^2), то от периода полового созревания к началу периода физиологического созревания – на 31,9 % (61,5±1,49 против 90,3±1,23 мкм^2).

При этом ЯЦО, наоборот, уменьшилось от периода новорожденности к началу периода молочного типа кормления и полового созревания соответственно на 28,6 и 42,9 %.

Итак, выявленная у животных контрольной группы онтогенетическая специфичность макро- и микро-морфологии надпочечников в основном имела место и у их сверстников опытной группы, но на более высоком метаболическом уровне, обусловленном назначением им «Трепела».

Во второй серии анализ динамики морфометрии изучаемой эндокринной железы опытов показал, что масса надпочечников свиней сравниваемых групп в онтогенетическом аспекте закономерно увеличивалась от 0,30±0,01–0,32±0,01 до 5,62±0,03–5,87±0,02 г, которая у 300-дневных опытных животных была больше контрольного показателя на 0,25 г (P<0,05).

Аналогичная закономерность выявлена в характере изменений ширины коркового вещества надпочечников. Так, по мере взросления подопытных свиней она неуклонно увеличивалась от 0,69±0,01–0,70±0,01 до 1,35±0,01− 1,47±0,04 мм с достоверным превышением у 300-дневных боровков второй группы.

Если у контрольных животных площадь ядер коркового вещества волнообразно уменьшалась к 300-дневному возрасту от 18,2±0,58 до 17,3±1,65 мкм^2, то у сверстников второй группы, наоборот, медленно увеличивалась (18,4±0,69 против 18,7±0,84 мкм^2).

Установлено, что площадь клеток изучаемого вещества у подопытных животных в связи с взрослением неуклонно повышалась от 45,03±2,24–45,7±2,84 до 82,4±1,64−85,8±0,94 мкм^2. При этом у 240-дневных боровков второй группы отмечено ее превышение на 10,4% (P<0,01) по отношению к контрольному значению. При этом ЯЦО, наоборот, волнообразно уменьшалось в течение экспериментов (0,7±0,01–0,7±0,02 против 0,3±0,01–0,3±0,03) без достоверной разницы в межгрупповом сравнении.

Выявлено, что ширина клубочковой зоны коры исследуемой железы у свиней обеих групп постепенно увеличивалась от начала опытов к их концу (0,07±0,01–0,08±0,01 против 0,13±0,01–0,16±0,01 мм). Площади ядер и клеток изучаемой зоны у подопытных животных волнообразно увеличивались в возрастном аспекте от 15,5±0,83–16,7±1,01 до 18,0±1,63−20,5±1,09 и от 38,4±2,54–38,7±3,51 до 68,8±3,31−72,0±0,96 мкм^2.

Отмечено, что ЯЦО, напротив, зигзагообразно уменьшалось от 0,7±0,03–0,8±0,01 до 0,4±0,01–0,4±0,03 (P>0,05). Выявлено, что ширина пучковой зоны надпочечников у исследуемых животных постепенно увеличивалась от начала к концу опытов (0,51±0,02–0,52±0,02 против 0,70±0,02–0,72±0,05 мм). Следует отметить, что разница в изучаемых параметрах морфометрии данной зоны во все сроки исследований подопытных свиней была несущественной. Иная закономерность выявлена в динамике площади ядер пучковой зоны, которая у подопытных хрячков и боровков волнообразно уменьшалась в возрастном аспекте (19,1±0,41–21,3±0,72 против 18,6±0,41–20,1±0,67 мкм^2). При этом площадь клеток этой зоны, наоборот, неуклонно увеличивалась в постнатальном онтогенезе от 44,4±3,02–44,6±2,88 до 93,4±0,89–98,2±1,21 мкм^2.

Если разница в площади ядер изучаемой зоны у животных сравниваемых групп во все сроки исследований была недостоверной, то в площади клеток у 240-, 300-дневных опытных боровков достоверно превышала контрольные показатели.

Выявлено, что ЯЦО у подопытных животных в процессе их роста уменьшалось от 0,8±0,01–0,8±0,03 до 0,2±0,01–0,3±0,01, различие в котором между боровками контрольной и опытной групп было незначительным. Ширина сетчатой зоны коркового вещества изучаемой железы неуклонно увеличивалась по мере взросления животных интактной и второй групп (0,11±0,01–0,11±0,01 против 0,52±0,01–0,59±0,05 мм ; P>0,05). Иная закономерность установ-

лена в динамике площади ядер исследуемой зоны надпочечников, которая у свиней сопоставляемых групп неизменно уменьшалась в возрастном аспекте от 18,6±0,53–18,8±0,31 до 15,4±0,67–15,6±0,76 мкм^2. Площадь клеток сетчатой зоны, напротив, с 2- до 300-дневного возраста постепенно увеличивалась (51,9±1,31–53,9±1,98 против 84,9±0,71–87,2±0,64 мкм^2). Характер изменений ЯЦО клеток изучаемой зоны всецело соответствовал динамике площади ядер, который по мере взросления подопытных животных уменьшался от 0,5±0,02–0,6±0,03 до 0,2±0,03–0,2±0,05.

Ширина мозгового вещества надпочечников увеличивалась в связи с взрослением исследуемых хрячков и боровков (0,78±0,03−0,80±0,02 против 1,26±0,04−1,39±0,04 мм). Причем 300-дневные животные второй группы по данному морфометрическому параметру достоверно превосходили интактных сверстников.

Другая закономерность выявлена в динамике площади клеток исследуемого вещества, которая от 2-х до 300-дневного возраста свиней обеих групп увеличивалась от 39,8±0,68−40,8±0,71 до 88,7±1,44−91,0±0,93 мкм^2.

Площадь ядер, ЯЦО мозгового вещества изучаемой железы по мере взросления животных контрольной и опытной группы, наоборот, уменьшались (14,2±0,71−16,2±0,82 против 13,6±1,17−13,9±1,05 мкм^2, 0,6±0,03− 0,7±0,05 до 0,2±0,02−0,2±0,05 соответственно).

При анализе данных макро- и микроморфологии надпочечников у контрольных животных в онтогенетическом аспекте отмечено, что масса железы во все периоды постнатального онтогенеза (новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания, физиологического созревания) достоверно увеличивалась соответственно на 68,4, 26,9, 64,0, 35,8%. Отсюда следует, что максимальная интенсивность роста надпочечников имела место в фазы новорожденности и полового созревания, а минимальная – молочного типа кормления. Установлено, что ширина коркового вещества исследуемой железы увеличивалась от периода новорожденности к концу периодов молочного типа кормления и полового созревания соответственно на 25,4 и 4,4% (P<0,05–0,001).

Выявленная онтогенетическая закономерность была присуща также характеру изменений ширины клубочковой, пучковой, сетчатой зон коры надпочечников и их мозгового веществ. Иная закономерность выявлена в динамике площади ядер коркового вещества, которая, напротив, волнообразно изменялась по мере взросления животных интактной группы с уменьшением в 15-ти, 240-дневном возрасте на 14,3, 12,1 % и увеличением в 60-ти, 300-дневном на 5,5, 16,2 %.

Площадь клеток коркового вещества в изучаемые периоды постнатального онтогенеза у хрячков и боровков увеличивалась соответственно на 13,4, 21,1, 9,6 и 10,2 % (P<0,05–0,001). Другая закономерность обнаружена в характере колебаний ЯЦО, которое было наименьшим к концу периода полового созревания. Отмечено, что площадь ядер мозгового вещества за периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового и физиологического созревания мозаично изменялась (28,4, 27,5, 6,3 и 9,3 %), которая была максимальной в фазы новорожденности, молочного типа кормления, и минимальной – полового и физиологического созревания. Отмечено, что если площадь клеток изучаемого вещества от периода новорожденности к концу периода молочного типа кормления увеличилась на 20,2% (40,8±0,71 против 51,1±1,89 мкм^2), то от периода полового созревания к началу периода физиологического созревания – на 33,8 % (58,7±1,23 против 88,7±1,44 мкм^2).

Установлено, что ЯЦО уменьшилось от периода новорожденности к началу периодов молочного типа кормления и полового созревания соответственно на 42,9 и 40,0 %.

Следовательно, выявленная онтогенетическая специфичность динамики структурно-функционального статуса надпочечников у хрячков и боровков первой группы в целом была присуща и их сверстникам второй группы, но на более интенсивном уровне обмена веществ, что обусловлено совместным назначением животным биогенных веществ «Трепел» и «Сувар».

Таким образом, выявлена причинно-следственная связь между особенностями макро-, микроморфологии структур надпочечников в разные периоды постнатального онтогенеза и скармливанием свиньям соответственно «Трепела» и «Трепела» совместно с «Суваром» с учетом биогеохимической специфичности Чувашского Юго-Востока и Центра.

Список литературы

[1] Виниченко, Г. В. Обоснование направленного воздействия местных природных минералов на морфофизиологический статус свиней : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.03.01 / Г. В. Виниченко. – Чебоксары, 2011. – 21 с.
[2] Полина, Ю. В. Влияние различных частотных режимов низкоинтенсивного электромагнитного излучения и стресса на морфофункциональное состояние надпочечников (экспериментальное исследование) : автореф. дис. … канд. мед. наук / Ю. В. Полина – Волгоград, 2009. – 19 с.
[3] Федотов, Д. Н. Глюкокортикоидная активность коры надпочечников поросят в подсосный и отъемный периоды / Д. Н. Федотов, И. М. Луппова, В. П. Ятусевич // Студенческая наука и образование : мат. *93-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов*, г. Витебск, 21–22 мая 2008 г. Витебск : УО «ВГАВМ», 2008. – С. 167–168.
[4] Федотов, Д. Н. Постнатальный гистогенез интерренальной и хромаффинной ткани надпочечника свиней: динамика клеточного состава / Д. Н. Федотов // *Ломоносов – 2008* : тез. докладов *Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*; секция «Биология» / М: МГУ им. М.В. Ломоносова. – М. : МАКС Пресс, 2008. – С. 21–22.

УДК: 573.22

ИНТРОННАЯ РНК И ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ГЕНОМА – КРИЗИС ПОНЯТИЯ ГЕН

В. А. Козлов

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары
pooh12@yandex.ru

… поверхностный взгляд имеет свои преимущества,
ибо позволяет уцепиться за действительно главное …
Григорий Кваша, Виктор Курляндский
«Рождение и гибель цивилизаций»

Реализация программы геном человека установила абсолютное несоответствие между числом генов и числом белков. Обнаружение альтернативного сплайсинга позволяет понять причину этого несоответствия и механизмы образования новых белков, изначально не записанных в геноме. Предложен новый термин – рекомбином.

Изначально понятие ген (греч., γενοσ род, происхождение) было принято для обозначения *теоретической* единицы передачи дискретной наследственной информации (Г. Мендель, Т. Морган). По мере формирования представлений о материальном носителе наследственной информации формировалось понятие гена как структурной и функциональной единицы наследственности, контролирующей развитие определённого признака или свойства. Затем это представление было уточнено: ген – наследственный фактор, функционально *неделимая единица генетического материала*, представляющая собой отрезок молекулы ДНК (у некоторых вирусов – молекулы РНК), в котором закодирована первичная структура полипептида (белка), молекулы транспортной или рибосомной РНК. В настоящее время чаще всего встречаются определения:

1) «Ген – структурно-функциональная единица генетического материала, наследственный фактор, который можно условно представить как отрезок молекулы ДНК (у некоторых вирусов – молекулы РНК), включающий нуклеотидную последовательность, в которой закодирована первичная структура полипептида (белка) либо молекулы транспортной или рибосомной РНК, синтез которых контролируется этим геном. Обусловливая первичную структуру конкретного белка, ген тем самым определяет формирование отдельного признака организма или клетки», – и:

2) «Ген – участок молекулы ДНК (в некоторых случаях РНК), в котором закодирована информация о биосинтезе одной полипептидной цепи с определенной аминокислотной последовательностью».

Между тем, уже в 20-х гг. работами А. С. Серебровского и Н. П. Дубинина, С. Бензера было установлено – *ген делим* и не является единицей мутации и рекомбинации. Эти работы были приняты международным научным сообществом и, судя по блуждающим по учебникам определениям понятия ген, благополучно забыты. Более того, позднее у эукариот были найдены так называемые псевдогены – копии известных генов, расположенные в других частях генома (не там, где расположен настоящий ген), лишённые интронов, или инактивированные мутациями, и поэтому не функционирующие. Видимо в связи с этими противоречиями Р. Докинз определяет ген как *единицу естественного отбора*, что, безусловно, позволяет уйти от предметно-структурно-количественного определения понятия ген и таким образом обойти все противоречия, связанные с этим понятием. Но это определение находится в явном противоречии с работами А. С. Серебровского, Н. П. Дубинина и С. Бензера.

В 1977 г. две группы исследователей – Ф. Шарп с коллегами в Массачусетском технологическом институте и группа сотрудников Колд-Спринг-Харборской лаборатории – обнаружили, что гены эукариот «разорваны», то есть, последовательность нуклеотидов ДНК, кодирующая белок, расположена не подряд, как у прокариот, а прерывается некодирующими белок последовательностями. Эти вставки были названы интронами, а разделенные значащие части – экзонами. Позднее было установлено, что после завершения транскрипции интроны вырезаются, а экзоны последовательно соединяются, образуя непрерывную кодирующую последовательность нуклеотидов – зрелую иРНК. То есть, экзон и есть истинный ген, но в структуре ДНК он почему-то (или для чего-то) разорван. В те годы, видимо все еще были убеждены, что: «Жизнь есть способ существования белковых тел …» (Ф. Энгельс), – в связи с чем, возник парадокс несоответствия корреляции между уровнем эволюционной сложности биологического вида и размером его генома. Считалось, что вырезанные интронные участки за ненадобностью полностью разрушаются, а участки ДНК, в которых были записаны интроны, получили название бессмысленных, или мусорной ДНК. Возможно, что разрушение интронов в эксперименте было результатом артефактов, вызванных неучтенными условиями: РНК очень нестабильна, даже внутри клетки РНК деградирует при малейшей перемене условий (температура, pH), загрязнением инкубационной среды РНКазами, занесенными с кожи рук экспериментатора [1]. С другой стороны, со степенью сложности вида коррелирует количество некодирующей ДНК.

Ситуация более усложнилась, когда в результате успешного завершения в апреле 2003 г. программы геном человека стало окончательно ясно, что у человека как вида белок кодируют всего примерно от 24000 до 32000 генов, а остальные 95% генома являются мусорной ДНК. По последним, уточненным, данным – 21000 генов (www.ensembl.org). При этом функционирование организма человека по разным оценкам обеспечивается от 240000 до 5 млн. различных белков – абсолютное несоответствие между числом генов и числом белков. Геном всех Metazoa содержит примерно одинаковое число генов, кодирующих белок, например, у круглого червя Caenorhabditis 19000 белок-кодирующих генов, геном актинии содержит 18000 белок-кодирующих генов, то есть, примерно столько же, сколько у человека

(~25000) [2]. Это обстоятельство заострило вопрос – в самом ли деле бессмысленна мусорная ДНК? А также вызвало сомнения в справедливости современного определения термина «ген» [3]. Представление о не кодирующей белок ДНК как о бессмысленной целиком и полностью является следствием мышления в рамках центральной биологической догмы. Но почему вся ДНК должна обязательно хранить информацию о белках. Если когда-то существовал мир РНК, которые «научились» сохранять свои нестабильные копии в виде стабильных кодов ДНК и, таким образом, воспроизводить их какое угодно число раз, то не являются ли интронные участки кодами многофункциональных РНК, функциональность и функциональная пластичность которых многократно превышает таковые параметры белков, выполняющих лишь узкоспециализированные – консервативные функции.

Л. И. Корочкин (2001), исходя из интерпретации двух фундаментальных фактов:
1) переход от одноклеточных к Metazoa сопровождался возникновением множества принципиально новых генов;
2) разница между геномами различных Metazoa (не смотря на то, что эволюционное расстояние между ними огромно), весьма незначительна и не существует корреляции между количеством генов и сложностью организма, – предложил гипотезу, что эволюция осуществляется через смену программ индивидуального развития, *преформированных* в геноме. Гипотеза Л. И. Корочкина частично доказана M. Y. Sherman (2007) установившем, что в процессе эволюции Metazoa, гены дуплицировались, изменялись или терялись, но принципиально новые гены почти не появлялись. Поэтому, геномы различных видов Metazoa, от плоских червей и до человека, находящиеся на гигантском эволюционном расстоянии, содержат сходное количество генов. Таким образом: «Базовая генетическая «программа», руководившая развитием первых животных, оказалась настолько удачной и гибкой, что последующая прогрессивная эволюция животных обеспечивалась в основном изменениями ее «*настроек*», а не «*архитектуры*»» [6]. Как эта программа может реализовываться?

В 1967 г. К. Вёзе, Ф. Крик и Л. Оргель впервые выдвинули предположение, что РНК может быть катализатором. Позднее, в 1980-е гг., каталитическая активность РНК была действительно обнаружена Т. Чеком и С. Альтманом. В 1998 г. Файер и Мелло опубликовали статью, в которой был раскрыт регуляторный механизм малых РНК, заключающийся в расщеплении ядерной иРНК малыми РНК (сплайсинг), которые представляли собой не что иное, как интронные участки этой же иРНК. Более того, оказалось, что малые РНК не только расщепляют иРНК, но способны прямо подавлять синтез белков в том случае, если функциональная иРНК есть и продолжается ее синтез в ядре, но потребности в кодируемом ею белке сию минуту нет. То есть, у эукариот, в так называемых бессмысленных участках ДНК, присутствуют специализированные рибозимы, способные разрушить иРНК и регулировать активность рибосом. Этот механизм запускается в случае, если синтезированная иРНК оказалась ненужной и используется для подавления активности гена, в том числе в соседних клетках. Фактически это означает, что, по крайней мере, часть мусорной ДНК оказалась вовсе не мусором, а функционально активной структурой. Согласно данным T. J. Bell et al. (2008), мусорная ДНК необходима для формирования Са-зависимых ионных каналов нервных клеток, расположенных в шипиках дендритов. В этих экспериментах деструкция интронной РНК нарушала электрические характеристики нейронов вследствие дефекта формирования цитозольных Са-зависимых ионных каналов [7].

Являются ли «мусорные» участки ДНК, кодирующие малые РНК, геном в рамках общепринятых на настоящий момент представлений? Очевидно – нет, потому что не несут информацию о белке. Применимо ли в данном случае определение гена, принадлежащее Р. Докинзу?

Все определения понятия ген исходят из того, что ген, или группа генов, кодирует какой-то один фенотипический признак, что не мешает той же группе генов, или одному гену, в сочетании с другим геном, или группой генов, параллельно кодировать другой, даже не родственный первому, фенотипический признак – так называемое плейотропное действие генов. Существует распространенное ~~заблуждение~~ убеждение, что совсем новый (не латентный и не рецессивный) фенотипический признак должен появиться в результате то ли критической мутации имеющегося гена (а как быть с группой генов?, а если она количественно значительная?), то ли появлением нового гена. Но, на примере горбаток (Membracidae) энтомологи и генетики из научных центров США и Франции под руководством Benjamin Prud'homme (Бенжамин Прюдом, 2011) показали, что рога у горбаток – это те же крылья [8]. У крылатых насекомых работает ген, тормозящий формирование крыльев в неположенном месте. У горбаток этот ген тоже есть, но «крылья» все равно растут и превращаются – в рога. Оказалось, что у жуков-навозников рога появляются благодаря тем же генам, что отвечают за формирование ног и крыльев. Формирование у горбаток и жуков-навозников рогов, а не крыльев или ног обусловлено тем, что гены, участвующие в формировании крыльев и/или ног активизируются немного по-другому: в разных клетках и в разные сроки развития личинки [8]. То есть, уж совсем морфологически разные фенотипические признаки кодируются одними и теми же генами!

То есть, все фенотипическое многообразие горбаток (фототаблица 1) определяется одним геном! На примере горбаток становится очевидным, что *отбирается и наследуется не ген, а способ его прочтения*. Если не знать этого обстоятельства – можно долго и упорно строить теории о конкуренции генов рогов и крыльев с генами способности к полету у горбаток и жуков-навозников. С точки зрения классического дарвинизма, рога у горбаток признак, конкурирующий со способностью к полету, как конкурирующие признаки они должны бы кодироваться разными генами. Из данного открытия следует, что для формирования естесвенного видового и внутривидового разнообразия

Фототаблица 1.
Горбатки – летают, несмотря на большие рога



Фототаблица 2.
Все уверены, что однояйцовые близнецы всегда аутентичны? Это заблуждение.



Однояйцовые близнецы Перл и Руби Дэй


Однояйцовые близнецы Сиерра и Сиена Бернал
Источник: www.mam.ua

природе вовсе необязательно каждый раз «изобретать» новые гены. Достаточно того, чтобы уже имеющийся *программнореализованный процесс*, и более того – уже отработавший свое в других клетках, реализовывался несколько не в тех условиях и немного по-другому, что приводит совсем не к тому, но в онтогенезе морфологически однородному, конечному результату (как это не похоже на компьютеры, представьте себе, что вы ставите Windows XP на другой клон той же машины и не в четыре пополудни, а в два часа ночи, и в результате получаете не операционную систему, установленную на компьютер, а, например, велосипед! Причем, если на этом клоне компьютеров и в это время – то всегда велосипед). Такое понимание реализации наследственности никак не согласуется ни с дарвинизмом, ни с существующими и используемыми в учебном процессе представлениями о структурной организации гена. Ген – это нечто большее, чем записанная в нем информация о последовательности аминокислот в белке.

Являются ли горбатки и жуки-навозники исключением. Нет, обнаружена вообще внеядерная и внегеномная, а в чистом виде структурная (или морфологическая) наследственность. В эксперименте J. T. Bonner et al. (1992) вырезание участка кортекса Paramecium и транслоцирование его обратно с разворотом на 180° была получена парамеция, у которой одна часть ряда базальных телец со всеми деталями ультраструктуры была развернута на 180° относительно всей прочей поверхности клетки. Наблюдение 800 поколений потомства одной прооперированной парамеции позволило доказать, что приобретенный признак, не закрепленный в гненоме – наследуется [9]. Авторы сделали вывод: «… кортекс состоит из макромолекул, которые складываются в определенную конфигурацию, и … эта конфигурация, даже в поврежденном виде, наследуется напрямую … Эту структуру отличает то, что ее форма как таковая не зависит от ядра; и все же она всецело зависит от него в том, что касается синтеза специфичных для нее строительных блоков» [9].

Представьте себе, что все сведения об этом эксперименте утеряны, а многочисленные потомки прооперированной туфельки попали в водоемы и стали объектом исследования генетиков, ничего не знающих об экспериментах J. T. Bonner et al. … и пытающихся найти ген, ответственный за разво-

Фототаблица 3.

рот это участка. Похоже, что из примеров с горбатками и парамецией следует, что фенотипические признаки могут быть напрямую детерминированы цитоскелетом, определяющим развитие клетки или группы клеток по определенному морфологическому пути просто в силу законов физики, а не в результате каких-то записей в геноме.

Существуют и более парадоксальные случаи значительно различающегося фенотипа при абсолютно одинаковом геноме! Все уверены, что однояйцовые близнецы, как, например, Перл и Руби Дэй, должны быть абсолютно похожи – эта уверенность является заблуждением. Однояйцовые близнецы Сиерра и Сиена Бернал значительно различаются по причине примордиальной карликовости у Сиены, которой нет у ее сестры (фототаблица 2). Но это патология.



Однояйцовые близнецы Марция и Милли Биггс при рождении были абсолютно похожи, но к шести годам …
Источник: http://www.bugaga.ru/interesting/1146721488-sestry-bliznyashki-marsi-i-milli-biggs.html

Однояйцовые близнецы англичанки Марция и Милли Биггс (мама – белая, папа – афро…англичанин?) были получены в результате экстракорпорального оплодотворения путем разделения бластулы, то есть – изначально зародыш развивался как моноорганизм и лишь на стадии нескольких бластоцитов был искусственно разделен для получения нескольких яйцеклеток, часть из которых была имплантирована матери (фототаблица 3).


Черно-белые однояйцовые близнецы Хейли и Лорен Деррэнт гордо держат своих новых сестер Лию и Мию – также близнецов с различным цветном кожи!
Источник:
http://www.thesun.co.uk/sol/homepage/news/article2082429.ece

На следующем фото черно-белые однояйцовые близнецы Хейли и Лорен Деррэнт гордо держат своих новых сестер Лию и Мию – также однояйцовых близнецов с различным цветном кожи (фототаблица 3). По-видимому, подобных случаев значительно больше, однако они не привлекают внимания исследователей, видимо потому, что абсолютно необъяснимы ни с точки зрения дарвинизма, ни с позиций классической генетики и вообще крайне неудобны. В целом, статистика рождения непохожих однояйцовых близнецов отсутствует. Считается, что подобные случаи встречаются с частотой 1 : 1.000.000 рождений однояйцовых близнецов. В чем причина появления таких случаев и каков механизм их появления? В 1980 г. E. B. Ziff обнаружил, что ген дрозофилы, кодирующий один из белков рецептора аксона, может образовать 38016 раз-

личных информационных РНК в результате направленной рекомбинации своих участков. Этот ген содержит 95 альтернативных экзонов [10]. Явление получило название альтернативного сплайсинга, который, возможно, и является причиной таких «аномалий», поскольку в результате альтернативного сплайсинга индивидуальный ген служит основой для получения множества изоформ белков. Достигается это тем, что интронные участки РНК после сплайсинга представляют собой множество малых РНК, осуществляющих *рекомбинацию экзона целеполагающим способом*. Известно, что в результате такой рекомбинации образуются клоны лимфоцитов, обученные вырабатывать специфичные антитела к какой-либо инфекции. Возможно, что случайные флуктуации внутренней среды клетки, набор которых в принципе ограничен и является перечислимым множеством, является триггером, направляющим развитие клетки по одному из нескольких альтернативных путей. Такими флуктуациями могут являться местоположение клетки в пространстве, время запуска трансляции, информация, полученная от других клеток и др. Такая гипотеза, напри-мер, удовлетворительно объясняет, почему гены гомеобокса (гены, определяющие общее развитие тела – осевая симметрия, цефализация, число конечностей и др.) удивительно одинаковы у всех изученных видов. Но у разных видов их деятельность приводит к появлению совершенно разных морфологических форм. Следовательно, должен быть механизм, регулирующий работу гомеобокса так, чтобы у самки мыши формировались мышата, а у самки лисы – лисята.

В настоящее время считается установленным, что ключевую роль в эволюции млекопитающих вообще играли не изменения кодирующих белки генов – они как раз очень консервативны – а изменения преимущественно регуляторных участков ДНК. Это интронные участки, от которых зависит, с какой интенсивностью, когда и в каких условиях будет работать данный цистрон – ген в его исходном понимании. Транслированные регуляторные РНК сами ничего не кодируют, но от них зависит, как текст будет получен из закодированных вместе с ними цистронов, то есть, как именно будет отработан альтернативный сплайсинг.

Но тогда мы неизбежно приходим к выводу, что альтернативный сплайсинг – эволюционирующий механизм эволюции. Причем механизм, работающий целенаправленно, потому что результат его деятельности будет сразу готов к взаимодействию с окружающей средой, а вот дарвиновского отбора – не будет. Более того, *единицей естественного отбора становится* не ген, как считает Р. Докинз, а *способ прочтения гена*, то есть, применяя терминологию информатики, *геном читается не в режиме трансляции*, что отражено в современном названии процесса чтения генома, *а в режиме интерпретации*, но, в отличие от машинного кода, интерпретатор не просто читает программу в целом, а затем начинает ее исполнять, но по мере необходимости переписывает (переставляет куски готового текста) интерпретируемый текст, так, чтобы новая программа выполняла ранее в явном виде незаписанные (но виртуально существовавшие) действия, необходимые в изменившихся условиях существования организма или группы клеток. А это предполагает, что при предъявлении новых требований среды геном будет интерпретирован оптимальным образом, а результат – *новый вид – не будет проходить отбора в дарвиновском понимании*. То видовое и внутривидовое разнообразие, которое мы наблюдаем, кажется, есть результат не перебора вариантов для естественного отбора с целью передачи наиболее удачных наборов генов, а результат *недетерминированной интерпретации* одних и тех же и слегка различающихся текстов. Вот так становится понятно, почему между разительно различающимися видами – шимпанзе и человек, например – так мало генетических различий.

Ранее мы придумали, что в ДНК записана вся наследственная информация и что вся ДНК содержит осмысленный текст, содержащий информацию о белках, из которых построены наши тела. Оказалось, что это не соответствует действительности, и «лишнюю» ДНК мы тут же определили как мусорную. Но уже давно установлено, что не все участки ДНК содержат информацию о белке. Так теломеры выполняют структурную функцию, защищая концы не кольцевых хромосом от разрушения и, как предполагается, ограничивают число

делений эукариотических клеток. Могут ли быть еще какие-то функциональные участки, не являющиеся геном? Однородна ли «мусорная ДНК»? В настоящее время установлено существование четырех главных видов «мусорной» ДНК [11]:

1) интроны, внутренние сегменты в генах, которые удаляются после созревания иРНК;
2) псевдогены, гены, инактивированные вставкой или удалением;
3) спутниковые последовательности, тандемные множества коротких повторений;
4) повторные последовательности, являющиеся мобильными элементами ДНК.

Как следует из процитированных выше работ, интронная РНК функциональна – регулируя активность генов и структуру хромосом, реализуя сплайсинг и альтернативный сплайсинг [11]. Часть интронной РНК является ретротранспозонами с промоторной активностью [12] – ранее, по крайней мере, часть из них, считалась неактивными телами древних вирусов – располагаясь в 3'-НТО (не транслируемых областях экзона) они являются местом интенсивной транскрипционной регуляции. И если пока установлена лишь часть функций некоторых участков, то это означает только то, что остальная функциональность еще определена. Являются ли псевдогены бессмысленными участками? Очевидно – нет. Yuji Kageyama и др. (2010) из Института интегративной биологии Окадзаки (Okazaki Institute for Integrative Biology) обнаружили, что псевдогены часто содержат многочисленные сигналы, останавливающие синтез белка и по этой причине могут кодировать только короткие аминокислотные цепочки. Смысл такой регуляции заключается в том, что ДНК, как правило, не кодирует белки с последовательностью менее 100 аминокислотных остатков, тогда как псевдогены позволяют транслировать не весь экзон, а только его часть, что и позволяет синтезировать олигопептиды длиной менее 100 аминокислотных остатков [13]. Спутниковые последовательности – организаторы центромера [11]. Повторные последовательности могут копировать сами себя. Копии могут вставляться в разные части геномной ДНК, в том числе в гены, изменяя их функцию [11]. Мутации во всех этих участках являются основной причиной «генных» заболеваний, а также основой полимеразной идентификации личности.

Новые данные о структуре и функционировании генома послужили причиной формулирования новых определений понятия «ген»:

✓ Human Genome Nomenclature Organization, ген – это «сегмент ДНК, влияющий на фенотип или функцию. В отсутствие проявленной функции ген может быть охарактеризован последовательностью, транскрипцией или гомологией» [14];

✓ Sequence Ontology Consortium, ген – это «локализуемый участок последовательности генома, соответствующий единице наследственности, которая ассоциирована с регуляторными, транскрипционными и другими функциональными участками последовательности» [15];

✓ Ensembl (совместный проект European Molecular Biology Laboratory, European Bioinformatics Institute и Wellcome Trust Sanger Institute) – *«все транскрипты, полученные в результате альтернативного сплайсинга, относятся к одному гену, даже если из них получаются разные белки»* [16];

✓ ген – это подпрограмма в операционной системе генома [3].

Столь сложная структура ДНК предполагает реализацию такой трехмерной укладки, которая бы позволила осуществлять правильное взаимодействие хромосом. Ранее внимание исследователей было сконцентрировано на изучении митотической укладки ДНК в хромосомы. Но с точки зрения изучения функциональности ДНК более интересна интерфазная укладка. Ранее считалось, будто ДНК упакована в виде «равновесной глобулы» (equilibrium globule). Однако эта конфигурация легко образует множество узлов [13]. Исследования E. Lieberman-Aiden et al. (2009) позволили установить, что интерфазная укладка ДНК представляет собой *фрактальную глобулу*, которая была теоретически предсказана около 20 лет назад, но в живой природе никогда раньше не наблюдалась [18]. Оказалось, что геном разде-

лен на две части: 1) содержащую активные (транскрибируемые) гены и 2) более плотно изолированные «ненужные» участки ДНК. Между этими частями происходит постоянный обмен включающимися и выключающимися генами. При этом, в каждой конкретной клетке картина укладки клубка молекул ДНК хотя и сходна в общих чертах, но различается в деталях [13]. Авторы считают, что способ, которым сложены участки ДНК, может влиять на то, какие гены «включаются» и «выключаются». Обнаруженный ими способ укладки ДНК получил название «оригами-эпигенетика».

Эксперименты, выполненные в рамках программы ENCODE, также позволили сделать вывод, что кодирующие гены, «мусорная ДНК», и другие элементы всего генома составляют управляющую сеть, детали которой взаимодействуют друг с другом [3]. Оказалось, что большинство человеческой ДНК транскрибируется в РНК. Обнаруженные РНК-транскрипты накладываются друг на друга, образуя сложные взаимодействующие участки генома [3]. Гены, кодирующие белки – только один из многих типов последовательностей ДНК, реализующих функциональное влияние [19].

В другой работе, посвященной изучению трехмерной структуры ДНК, было выявлено, что рядом расположенные участки ДНК склонны к формированию межхромосомных контактов, частота образования которых коррелирует с транскрипционной активностью области. Поскольку транскрипция часто сосредотачивается на дискретных местах – транскрипционные машины – эта корреляция может быть следствием активности областей, вовлеченных в деятельность той же самой транскрипционной машины [20]. Работы E. Lieberman-Aiden et al. (2009) и Reza Kalhor et al. (2012) дополняют друг друга, в последней работе также расшифрована трехмерная структура интерфазной ДНК, в целом совпадающая с результатами Lieberman-Aiden E. et al., не смотря на то, что обе реконструкции были получены разными методами.

В свете изложенного допустимо предположение, что ДНК должна содержать как минимум четыре типа участков: 1) участки, кодирующие белок (гены в прежнем понимании); 2) разные формы РНК, рекомбинирующих участок кодирования белка – машины рекомбинирования; 3) регуляторные (типичный пример – НТО, нетранслирующие области, в которых записано сколько молекул белка будет синтезировано с помощью этой конкретной иРНК, когда она должна быть разрушена, сколько и где ее хранить до разрушения); 4) структурные – места крепления к гистонам, мембране ядра, микрофиламентам (?) ядра, а также обеспечивающие формирование трехмерной конформации ДНК, таким образом, чтобы транслируемые участки были доступны для машин трансляции. Кроме того, должны бы существовать участки, в которых записана структура машин трансляции, способы и условия их взаимодействия.

Напрашивается аналогия с организацией трехмерной структуры белковых ферментов и рецепторов – функцию выполняет только активный центр, но для его формирования, реализации механизма узнавания специфичных субстратов и регуляции активности необходима вся остальная часть белковой молекулы.

Таким образом, изложенные данные позволяют сделать вывод, что содержание и границы используемого в настоящее время термина ген не соответствуют уже установленным фактам трехмерного строения и функционирования ДНК, в связи с чем, необходим пересмотр представлений о том, что есть ген, либо путем отказа от этого термина, либо путем изменения его содержания и границ. С моей точки зрения, назрело введение ряда новых понятий:

«*рекомбином*» – участок ДНК, состоящий из 1) *устойчивых (консервативных)* единиц рекомбинации (цистронная часть РНК), кодирующих информацию о группе виртуальных белков (ген в существующем понимании), 2) *вариативных* единиц (малых РНК), регулирующих рекомбинацию экзона и 3) не транслируемых информационных участков ДНК, содержащих информацию о количестве копий белка, продолжительности жизни цистрона, месте синтеза конкретного белка и т.п.;

структурный участок ДНК – не транслируемые единицы, а) образующие теломеры и центромер, б) служащие для крепления ДНК к кариолемме, гистоновым белкам и микрофила-

ментам, в) формирующие конформацию информативных участков генома, обеспечивая работу машин трансляции и межхромосомное взаимодействие;

регуляторный участок ДНК – транслируемые единицы, содержащие информацию о машинах трансляции, и не транслируемые единицы, содержащие информацию о взаимодействии машин трансляции, находящихся в преформированном состоянии.

При этом следует учитывать, что рекомбинация цистронных участков может происходить как в ДНК, так и после трансляции в соответствующей РНК.

Наконец, последнее определение, сформулированное на основе реализации программы ENCODE: «Ген – это объединение геномных последовательностей, кодирующих когерентный набор потенциально перекрывающихся функциональных продуктов» [3], в целом согласуется с предлагаемым мною термином «рекомбином».

Либо придется продолжать считать, что ген – это просто отрезок молекулы ДНК, обладающий функциональной активностью.

Список литературы

[1] Jing Liu Fabrication of Stable and RNase-Resistant RNA Nanoparticles Active in Gearing the Nanomotors for Viral DNA Packaging / Liu Jing [et al.] // ACS Nano. – 2011. – Vol. 5, N 1. – P. 237–246.

[2] Fire A. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans» / A. Fire, S. Xu, M. Montgomery, S. Kostas, S. Driver, C. Mello // Nature. – 1998. – Vol. 391, N 6669. – P. 806–811.

[3] Gerstein M. B., Bruce C., Rozowsky J. S., Zheng D., Du J., Korbel J. O., Emanuelsson O., Zhang Z. D., Weissman S., Snyder M. What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition // Genome Research. – 2007. – № 17. – P. 669–681.

[4] Корочкин Л. И. Гены, онтогенез и проблемы эволюционного развития / Л. И. Корочкин. – Эволюционная биология: матер. конф. проблема вида и видообразование, под ред. В. Н. Стегния. – Томск: Томский государственный университет. – Т. 1., 2001. – С. 49–72.

[5] Sherman M. Y. Universal Genome in the Origin of Metazoa: Thoughts About Evolution / M. Y. Sherman // Cell Cycle. – 2007. – Vol. 6, № 15. – P. 1873–1877.

[6] Putnam N. H. Sea Anemone Genome Reveals Ancestral Eumetazoan Gene Repertoire and Genomic Organization / N. H. Putnam [et al.] // Science. – 2007. – V. 317. – P. 86–94.

[7] Bell T. J. Cytoplasmic BKCa channel intron-containing mRNAs contribute to the intrinsic excitability of hippocampal neurons / T. J. Bell [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. – 2008. – Vol. 105, N 6. – P. 1901–1906.

[8] Prud'homme B. Body plan innovation in treehoppers through the evolution of an extra wing-like appendage / B. Prud'homme [et al.] // Nature. – 2011. – Vol. 473. – P. 83–86.

[9] Bonner J. T. On Development: The Biology of form. Cambridge, Mass.: Harvard University Press. 1992. – P. 180.

[10] Ziff E. B. Transcription and RNA processing by the DNA tumor viruses / E. B. Ziff // Nature. – 1980. – Vol. 287, № 5782. – P. 491–499.

[11] Walkup L. K. «Junk» DNA: Evolutionary Discards or God`s Tools? / L. K. Walkup // CEN Technical J. – Vol. 14, № 2. – P. 18–30.

[12] Kondo T. Small Peptides Switch the Transcriptional Activity of Shavenbaby During Drosophila Embryogenesis / Kondo T. [et al.] // Science. – 2010. – Vol. 329, № 5989. – P. 336–339.

[13] Faulkner G. J. The regulated retrotransposon transcriptome of mammalian cells / G. J. Faulkner [et al.] // Nature Genetics. – 2009. – Vol. 41, № 5. – 563–571.

[14] Wang J. Genomic organization, transcript variants and comparative analysis of the human nucleoporin 155 (NUP155) gene / J. Wang [et al.] // Gene. – 2002. – Vol. 288. – P. 9–18.

[15] Pearson H. Genetics: what is a gene? // Nature. – 2006. – Vol. 441 (7092). – P. 398–401.
[16] Wade N. 2003. Gene sweepstakes ends, but winner may well be wrong. New York Times. http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?sec=health&res=9A02E0D81230F930A35755C0A9659C8B63
[17] Zhang Z. D., Weissman S., Snyder M., Gerstein M. B., Bruce C., Rozowsky J. S., Zheng D., Du J., Korbel J. O., Emanuelsson O. What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition // Genome Res. – 2007. – № 17. – P. 669–681.
[18] Lieberman-Aiden E. Comprehensive Mapping of Long-Range Interactions Reveals Folding Principles of the Human Genome / E. Lieberman-Aiden [et al.] // Science. – 2009. – Vol. 326, № 5950. – P. 289–293.
[19] Grosberg A. Crumpled Globule Model of the Three-Dimensional Structure of DNA / A. Grosberg [et al.] // Europhysics Letters (EPL). – 1993. – Vol. 23, № 5. – P. 373–378.
[20] New Findings Challenge Established Views on Human Genome // Nature. – 2007. – Vol. 447. – P. 799–816.
[21] Reza Kalhor Genome architectures revealed by tethered chromosome conformation capture and population-based modeling / Reza Kalhor [et al.] // Nature Biotechnology. – 2012. – Vol. 30. – P. 90–98.

УДК 636.084.12; 591.362; 574.24

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ, ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ У СВИНЕЙ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЧУВАШСКОГО ЗАСУРЬЯ

М. Н. Лежнина, А. А. Шуканов
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»

Установлены онтогенетические особенности параметров продуктивности, гематологической, биохимической и иммунологической картины крови у хрячков и боровков при скармливании биопрепарата «Трепел» с учетом биогеохимических особенностей Алатырского Засурья Чувашской Республики.

Введение. Удовлетворение потребностей людей в высококачественных продуктах питания и обеспечение пищевой промышленности сырьем животного происхождения невозможны без дальнейшей гармонизации между социально-экономическими потребностями человека и возможностями природы к ее саморегуляторной и саморегенеративной способности, направленной на поддержание хрупкого баланса во взаимодействии системы «Организм и среда». В то же время от бесперебойного и достаточного по медицинским нормам снабжения населения основными продуктами питания зависят судьбы людей, поддержание их активной и здоровой жизни. Ухудшение же питания населения влечет за собой необратимые демографические изменения, увеличивает социальную и межрегиональную напряженность. Биологически активные вещества природного происхождения имеют широкий спектр действия, гораздо менее токсичны по сравнению с химическими соединениями. Поэтому разработка, апробация и внедрение новых биогенных соединений отечественного производства, вызывающих иммунофизиологические и метаболические эффекты организма с учетом биогеохимического своеобразия регионов России, является актуальной проблемой современной биологической науки и биотехнологии [1]; [2]; [3]. В этой связи целью исследований является изучение специфичности роста тела, гематологического, биохимического и иммунологического профилей у хрячков и боровков в постнатальном онтогенезе, содержащихся при назначении «Трепела» с учетом биогеохимических особенностей Алатырского Засурья Чувашии.

Материал и методы исследований. Проведена серия научно-хозяйственных опытов и лабораторных экспериментов с использованием 20 поросят-сосунов, для чего их подбирали по принципу аналогов с учетом клинико-физиологического состояния, породы, возраста, пола, массы тела по 10 животных в каждой группе. Хрячков обеих групп с 2- до 59-дневного возраста выращивали вместе с подсосными свиноматками. Затем после кастрации боровков первой группы (контроль) с 60- до 300-дневного возраста (продолжительность исследований) содержали на основном рационе (ОР). Животным второй группы на фоне ОР ежедневно скармливали «Трепел» в дозе 1,25 г/кг массы тела (м. т.) до конца экспериментов.

В ходе опытов у 5 животных из каждой группы на 2-, 15-, 60-, 240- и 300-й день жизни (соответственно периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания, физиологического созревания) изучали клинико-физиологическое состояние, рост тела, показатели естественной резистентности и обмена веществ по общепринятым в физиологии современным тестам.

Результаты исследований и их обсуждение. Выявлено, что у исследуемых хрячков и боровков изменения температуры тела носили волнообразный характер; частота ударов пульса и дыхательных движений неуклонно снижалась по мере взросления, значения которых были в пределах колебаний физиологической нормы (P>0,05).

Анализ динамики роста показал, что если масса тела у 2-, 15-, 60-дневных изучаемых хрячков была практически одинаковой, то в их 240-, 300-дневном возрасте (периоды полового и физиологического созревания), у животных опытной группы она была выше контрольных показателей на 16,6–26,3% (P<0,001; рис. 1).

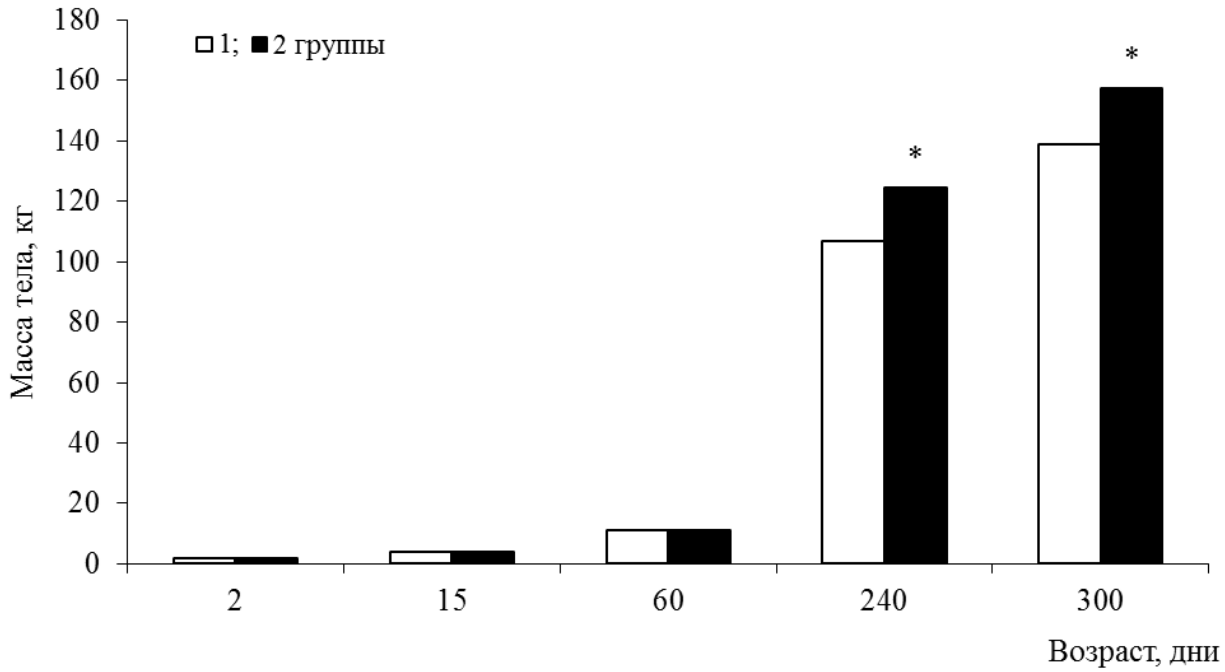


Рис. 1. Динамика живой массы животных
Примечание: * – p<0,05

Характер колебаний среднесуточного прироста массы тела всецело соответствовал динамике живой массы, который у животных контрольной и опытной групп за период исследований в среднем составил 343±120,29 и 403,5±124, 30 г соответственно. Причем у животных второй группы, содержавшихся при назначении «Трепела», превышение составило 18,3 % (P<0,005). Установлено, что если коэффициент роста у исследуемых поросят в 15-, 60-дневном возрасте был практически равнозначным (соответственно 2,0±0,03–2,0±0,01 и 5,3±0,08–5,4±0,11), то у 240-, 300-дневных боровков второй группы он был достоверно выше

контрольных значений. Выявлено, что число эритроцитов в крови животных интактной группы в возрастном аспекте волнообразно повышалось от 2,00±0,02 до 5,27±0,02, второй – от 1,99±0,03 до 5,50±0,03 млн/мкл. При этом 240- и 300-дневные животные опытной группы превосходили по этому гематологическому показателю контрольных сверстников на 3,6–4,2 % (P<0,005). Характер изменений концентрации гемоглобина у исследуемых животных в целом соответствовал динамике количества эритроцитов, которая у опытных боровков в периоды полового и физиологического созревания достоверно превышала контрольные значения.

Если число эритроцитов и уровень гемоглобина у подопытных животных постепенно нарастали по мере их взросления, то количество лейкоцитов, наоборот, сначала увеличивалось от фазы новорожденности к концу фазы молочного типа кормления (14,7±0,13–14,8±0,11 против 19,1±0,13–19,1±0,11) с последующим понижением в фазу физиологического созревания до 18,2±0,19–18,6±0,23 тыс/мкл (P>0,05). Установлено, что у хрячков и боровков сравниваемых групп процент аутобляшкообразующих клеток (АБОК) волнообразно изменялся по мере их взросления от 0,91±0,04− 0,98±0,03 до 2,21±0,03−2,27±0,05 (P>0,05).

Уровень общего белка в сыворотке крови животных обеих групп значительно нарастал от 2- до 15-дневного возраста (57,8±0,77–57,8±0,78 против 66,4±0,37–66,7±0,36 г/л) с последующим волнообразным понижением к концу исследований до 62,6±0,90–66,3±1,18 г/л. Выявлено, что концентрация общего белка у 240- и 300-дневных опытных животных была выше по сравнению с таковой у сверстников контрольной группы соответственно на 5,6 и 5,8% (P<0,05). Такая же закономерность отмечена в динамике уровня альбуминовой фракции общего белка, который у хрячков и боровков сопоставляемых групп волнообразно увеличивался в возрастном аспекте от 16,6±0,16–16,7±0,19 до 21,7±0,43–23,2±0,23 г/л. Причем в периоды полового и физиологического созревания (240- и 300-дневный возраст) животные по данному биохимическому показателю достоверно превышали контрольные значения. Установлено, что концентрация α- и β-глобулинов у исследуемых животных зигзагообразно увеличивалась к концу наблюдений без достоверной разницы в ней (9,7±0,08–9,8±0,09 г/л против 10,8±0,71–12,2±0,13 и 8,5±0,50–8,6±0,47 против 9,4±0,33–9,9±0,49 г/л соответственно).

Другая закономерность обнаружена в динамике концентрации γ-глобулинов, которая у животных обеих групп от 2- до 60-дневного возраста понижалась от 22,8±0,14–22,9±0,15 до 18,7±0,58–18,8±0,66 г/л, а затем повышалась в возрастном аспекте 18,7±0,58–18,8±0,66 против 20,2±0,40–21,8±0,51 г/л). При этом 240-, 300-дневные боровки опытной группы превосходили по данному иммунокомпетентному фактору контрольных сверстников на 6,8–7,3% (P<0,05–0,001; рис. 2). Выявлено, что уровень иммуноглобулинов у подопытных животных неуклонно нарастал по мере их взросления от 6,5±0,15−6,7±0,10 до 16,7±0,21−18,2±0,24 мг/мл. Следует отметить, что боровки опытной группы в 240- и 300-дневном возрасте достоверно превосходили по данному иммуннокомпетентному фактору животных контрольной группы. Активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) у животных обеих групп по мере взросления волнообразно снижалась от 5,41±0,03–5,44±0,04 до 4,73±0,25–5,25±0,11 mV.

При этом в периоды их полового и физиологического созревания (240 и 300 дней) опытные боровки превышали по изучаемому показателю липидного обмена контрольные значения на 16,4−21,3% (P<0,001). Иная закономерность выявлена в динамике активности антиоксидантной системы (АОС), которая у 240-, 300-дневных боровков опытной группы была достоверно выше, чем в контроле. Выявлено, что уровень пероксидазы в крови подопытных хрячков и боровков от 2- до 300-дневного возраста заметно уменьшался (98,0±0,80–99,0±0,4980 против 20,6±0,68–22,6±0,95 у.е.). При этом у животных опытной группы во все периоды постнатального онтогенеза он был ниже в сравнении с таковым у их контрольных сверстников (P>0,05).

При оценке углеводного обмена другая закономерность выявлена в динамике активности щелочной фосфатазы, которая у подопытных животных волнообразно увеличивалась по мере их взросления от 1,60±0,02–1,62±0,02 до 2,25±0,04–2,29±0,07 ммоль/ч·л. Причем у боровков второй группы в изучаемые периоды постнатального онтогенеза концентрация исследуе-

мых ферментов была ниже в сравнении с таковым у их контрольных сверстников (P>0,05). Отмечено, что уровень глюкозы у изучаемых животных плавно повышался в возрастном аспекте от 2,4±0,14–2,6±0,08 до 5,4±0,09–5,9±0,10 г/л. Причем у боровков в период физиологического созревания он был достоверно выше по отношению к контрольному параметру.

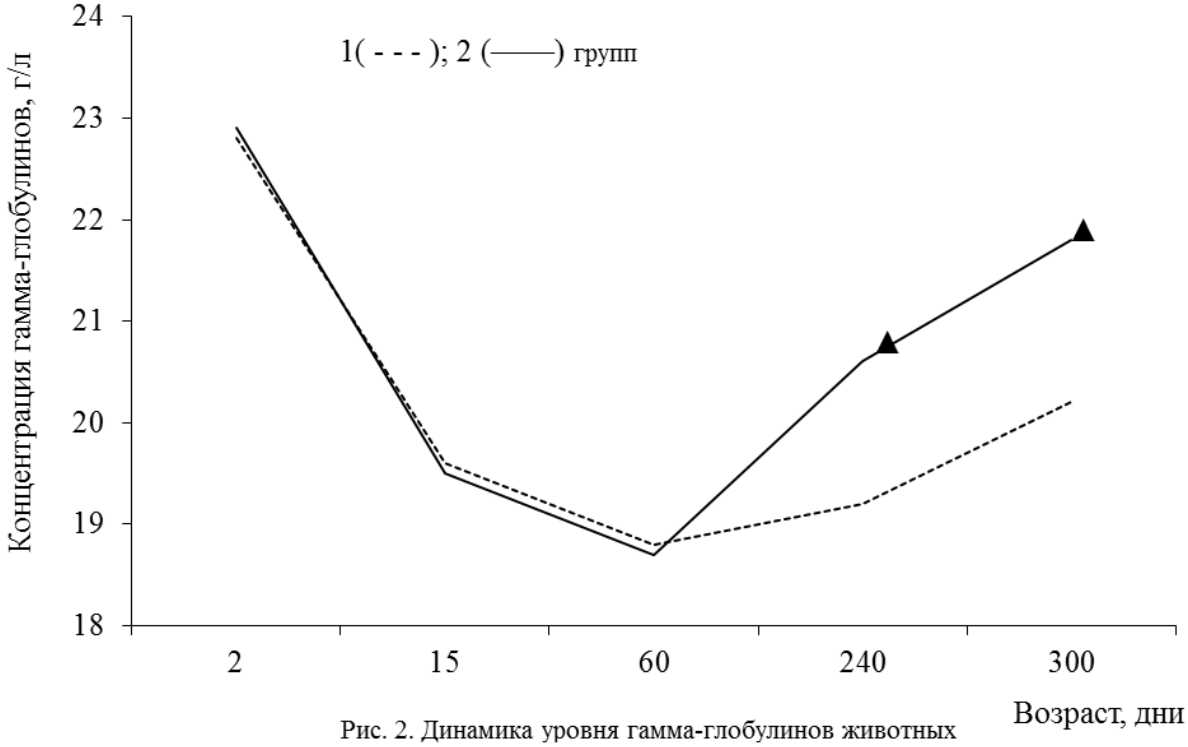


Рис. 2. Динамика уровня гамма-глобулинов животных

Примечание: * – ▲здесь и далее p<0,05

Уровень кислотной емкости в сыворотке крови животных опытной группы волнообразно уменьшался в возрастном аспекте (274±2,45 против 240±10,02 мг/%), а у животных опытной группы, наоборот, увеличивалась от 275±2,24 до 288±16,04 мг/%). При этом у 240- и 300-дневных боровков второй группы он был выше такового контрольных сверстников на 12,7−16,7% (P<0,05–0,01). При анализе состояния минерального обмена выявлено, что уровень общего кальция у изучаемых животных волнообразно увеличивался по мере их взросления от 1,39±0,02−1,40±0,02 до 2,05±0,03−2,18±0,04 ммоль/л, который у 240-, 300-дневных боровков второй группы был достоверно выше, чем в контроле (рис. 3).

Характер изменений концентрации неорганического фосфора в целом соответствовал динамике уровня общего кальция. Так, опытные боровки в периоды полового и физиологического созревания превосходили контрольные показатели на 3,8–4,4% (P<0,05). При оценке ростовых данных у контрольных животных в онтогенетическом разрезе выявлено, что масса тела за периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового созревания и физиологического созревания увеличивалась соответственно на 50,0, 63,0, 89,9 и 23,1 %. Отсюда следует, что максимальный рост тела имел место в фазу полового созревания, минимальный – физиологического созревания. Аналогичная закономерность выявлена в характере изменений среднесуточного прироста массы тела, который за изучаемые периоды онтогенеза составил 149±4,25 г, 154±0,91, 533±6,14 и 536±10,20 г соответственно.

Динамика значений коэффициента роста в основном соответствовала характеру колебаний среднесуточного прироста массы тела. Отмечено, что количество эритроцитов у интакных животных заметно увеличивалось от фазы новорожденности к концу фазы молочного

типа кормления на 46,1 % (P<0,001), а к концу фаз полового и физиологического созревания на 1,1 и 0,6% соответственно (P>0,05). Аналогичная онтогенетическая закономерность была присуща характеру изменений концентрации гемоглобина в крови. Иная закономерность выявлена в динамике числа лейкоцитов, которое в изучаемые периоды постнатального онтогенеза от периода новорожденности к периоду молочного типа кормления возросло на 23,0 % (14,7±0,13 против 19,1±0,13 тыс/мкл), с последующим снижением 18,2±0,19 тыс/мкл в период физиологического созревания.

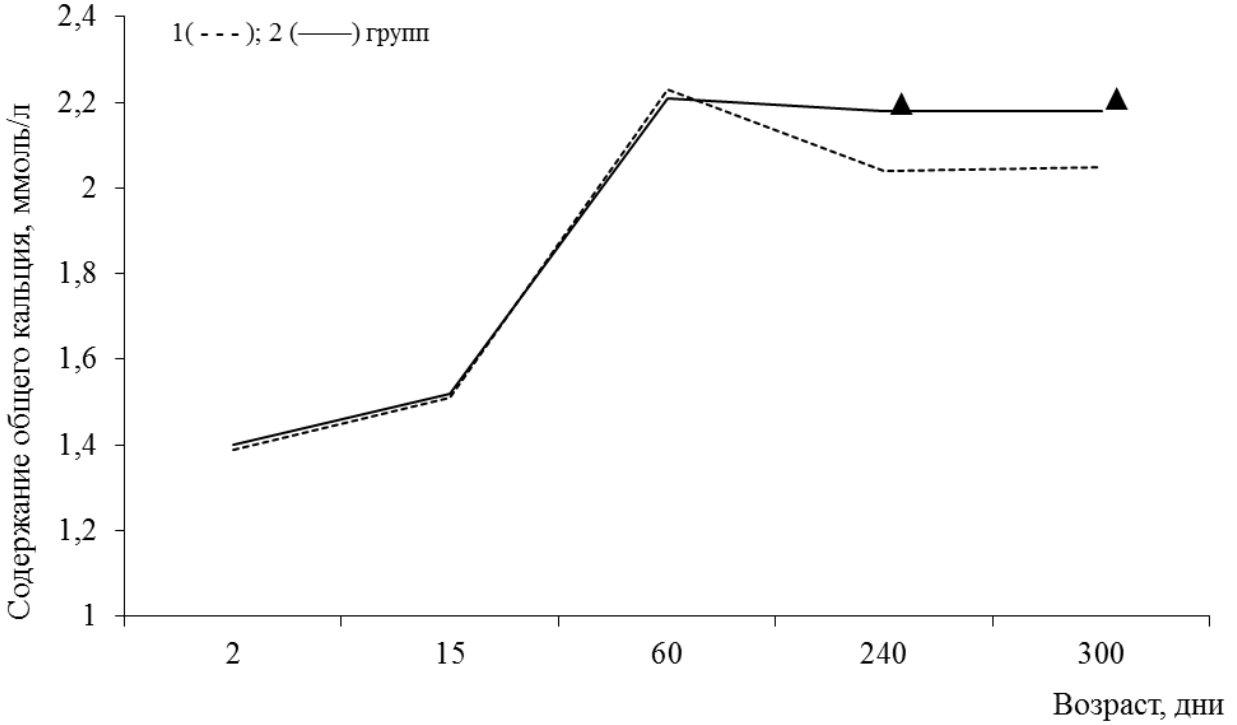


Рис. 3. Динамика уровня общего кальция у животных

Установлено, что процент АБОК в периоды новорожденности, молочного типа кормления, полового и физиологического созревания соответственно составил32,6, 49,6, 14,6 и 0,9%. Отсюда следует, что изучаемый показатель клеточного иммунитета был максимальным в фазу молочного типа кормления, и минимальным – физиологического созревания. Аналогичная закономерность имела место в динамике уровня общего белка, который за исследуемые периоды постнатального онтогенеза составил 57,8±0,78 г/л, 66,4±0,37, 58,2±0,30, 62,5±0,81 и 62,6±0,90 г/л (13,0, 12,3, 6,9 и 0,2%) соответственно. Выявлено, что концентрация альбуминов у интактных животных увеличивалась от периода новорожденности (16,7±0,19 г/л) к концу периодов молочного типа кормления (20,4±0,28 г/л), полового созревания (21,5±0,28 г/л) соответственно на 30,1, 5,1 % (P<0,05–0,001), а к концу периода физиологического созревания составила 21,7±0,43 г/л (0,9 %). Отмечено, что уровень α-, β- и γ-глобулинов увеличился от фазы новорожденности к началу фазы молочного типа кормления и полового созревания на 10,4–31,6 %. Установлено, что концентрация иммуноглобулинов заметно увеличилась от периода новорожденности к началу периода молочного типа кормления (6,5±0,15 против 16,0±0,12 мг/мл), что составляет 59,4%, а к концу периода физиологического созревания его увеличение было 4,8%. Если активность ПОЛ к концу фазы полового созревания была минимальной, то активность АОС, наоборот, к концу фазы полового созревания – максимальной. Выявлено, что активность пероксидазы увеличилась к концу периода молочного типа кормления и полового созревания соответственно на 44,6 и 46,1 %. Другая закономерность была обнаружена в динамике активности щелочной фосфатазы, которая была наибольшей к концу периода полового созревания (1,47±0,02 против 2,32±0,07 ммоль/ч·л). Иные онтогенетические особенности

имели место в динамике уровня глюкозы, которая в периоды молочного типа кормления и физиологического созревания нарастала соответственно на 45,8 и7,4 %.

Уровень кислотной емкости в онтогенетическом аспекте максимально увеличился от фазы новорожденности (2-дневный возраст) к началу фазы молочного типа кормления (15-дневный возраст) на 25,5%, а затем уменьшился к началу фазы полового созревания (60-дневный возраст) на 38,0%. Иная закономерность у контрольных животных выявлена в характере изменений уровня общего кальция и неорганического фосфора, который повышался от периода новорожденности к концу периода молочного типа кормления соответственно на 32,3 и 16,1 % (1,39±0,02 против 2,23±0,06; 0,70±0,01 против 1,37±0,03 тыс/мкл).

Итак, выявленная онтогенетическая специфичность динамики роста тела, гематологического, биохимического и иммунологического профиля у контрольных животных в целом соответствовала таковой у их опытных сверстников, но на более высоком обменном уровне, обусловленном назначением испытуемого биопрепарата «Трепел».

Резюме. В биогеохимических условиях Алатырского Засурья Чувашской Республики выявлена причинно-следственная связь между применением свиньям биогенного вещества «Трепел», а также особенностями продуктивности, клеточного, гуморального факторов естественной резистентности и метаболизма организма.

Список литературы

[1] Гарипов, Т. В. Направленный синтез химических соединений − основной путь создания новых лекарственных средств / Т. В. Гарипов и соавт. // Ученые записки КАГВМ им. Н. Э. Баумана. − Казань, 2003. − С. 27−33.

[2] 2. Федоров, Ю. Н. Иммунокоррекция: применение и механизм действия иммуномодулирующих препаратов / Ю. Н. Федоров // Ветеринария. – 2005. – № 2. – С. 3−6.

[3] 3. Wyers, R. Spreading Probiotics / R. Wyers // World Food Ingredient., 2004. – № 3. – P. 26−27.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОАМИНОВ ПОСЛЕ АКУПУНКТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е. В. Любовцева, С. Л. Кузнецов, Л. А. Любовцева

1. Введение. Известно, что акупунктура влияет на иммунный статус организма, вызывает изменения лейкоцитарной формулы. Иглоукалывание может оказывать как оздоравливающий эффект, так и привести к ухудшению здоровья человека в неопытных руках врача. В связи с чем, необходимо выяснить механизм влияния акупунктуры, через какие структуры или вещества воздействуют иглы в точках акупунктуры. Предположительно, что одним из звеньев этого механизма являются биологически активные веществ, в данном случае нейроамины: Известно, что нейроамины в организме играют роль трансмиттеров (передатчиков), участвуют в оплодотворение клеток, в их размножение, дифференцировке и влияют на многие жизненные процессы, в том числе участвуют в местной, автономной регуляции многих органов и тканей (Любовцева Л.А., 2008).

Исходя из сказанного, целью данного исследования было выявление влияния акупунктуры на состояние биоаминсодержащих структур костного мозга, содержащих нейроамины.

2. Материал и методы исследования. Нами исследовался костный мозг 50 крыс весом 140 гр. Взятие костного мозга происходило при передозировке крысы эфиром из предварительно замороженной бедренной кости. Изъятый столбик костного мозга резали в криостате с толщиной среза 15-20 мкм. Животные были разделены на 5 групп. 1-я группа (10) были интактные. 2-я – контрольные. Костный мозг брали после постановки иглы рядом с точкой 20 Х.

Так как изменения в этом случае наблюдались только сразу после снятия иглы, на остальных сроках контрольные значения мы не приводим, так как они полностью совпадают с интактными. 3-я группа – костный мозг брали сразу после извлечения иглы с 10 мин экспозицией. 4-я – костный мозг брали через 30 и 5-я – через 4 часа. Для определения точки пользовались анатомическим атласом животных и прибором «Элетерис-2»

Свеже-приготовленные криостатные срезы обрабатывались нами:

1. Люминесцентно-гистохимическим методом Фалька-Хилларпа (1969) для выявления катехоламинов (КА) и серотонина

2. Люминесцентно-гистохимическим методом Кросса с соав. (1971) на гистамин.

3. Количественное измерение изучаемых нейромедиаторов проводили на люминесцентном микроскопе ЛЮМАМ–4 с применением микрофлюориметрической насадки ФМЭЛ–1А. Цифровые данные снимались с вольтметра при напряжении 800 В с зондом 0,5, показания регистрировались в условных единицах (у.е.). Для выявления КА использовали фильтр 6 с длиной волны 480 нм, для серотонина – 8 с длиной волны 525 нм. Гистамин выявляли на длине волны 515 нм на 7 фильтре. Полученные цифровые данные обрабатывали статистически с помощью программы «Статистика» по Стьюденту на компьютере IBM совместимом с Pentium 166 MMX.

4. На основе цифровых данных проводили корреляционный анализ для выявления слаженности работы биоаминпродуцирующих структур. 5.Вычисляли серотониновый индекс (СИ) для определения ведущей роли определенных нейроаминов и структур их содержащей.

6. Миелограмму подсчитывали на 500 клеток после окраски препаратов по Паппенгейму.

3. Результаты и их обсуждение. Было найдено, что в костном мозге, не зависимо от вида животного, биогенные амины содержатся во всех клетках. Больше всего их выявляется в зрелых формах клеток и меньше в бластных (Любовцева Л.А.,1993; Агафонкин С.А., 2006; Нестерин К.В., 2007).

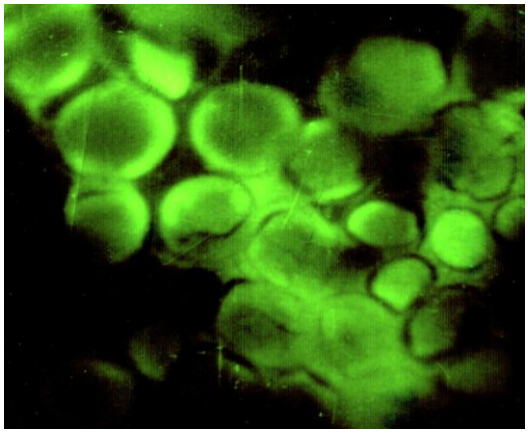


Рис. 1. Адсорбированный гистамин в клетках костного мозга интактных крыс. В оксифильных эритробластах гистамин больше локализуется в ядрах клеток, а у бластных форм – в цитоплазме. Метод Кросса. ЛЮМАМ-4. Ув. имм.

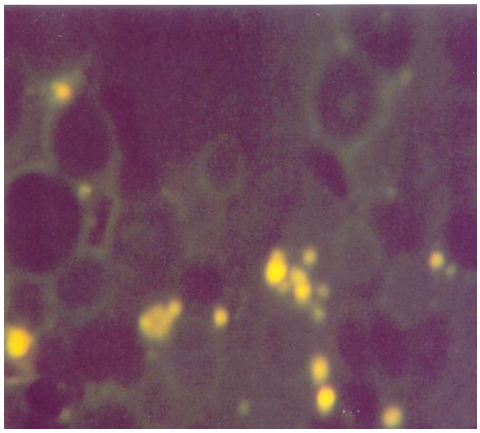


Рис. 2. Локализация гистамина в структурах костного мозга крыс. а) гранулярная люминесцирующая клетка, содержащая гистамин. б) жировые клетки. в) нейтрофилы г) моноциты д) лимфоциты. Метод Кросса. ЛЮМАМ–2. Ув. 400.

Это возможно связано с тем, что наблюдается адсорбирование биогенных аминов на внешнюю поверхность цитомембраны на гликокаликсе.

В наибольшем количестве биогенные амины находятся в гранулярных люминесцирующих клетках (ГЛК), которые впервые были открыты Мотавкиным П.А. в 1969 г. в оболочках мозга и были названы им аминоцитами. В гранулярных люминесцирующих клетках, как было доказано ранее, нейроамины синтезируются (Гунин А.Г., 1998). Большое количество

биологически активных веществ в костном мозге определяется в тучных клетках и мегакариоцитах (МКЦ). Моноамины (норадреналин, адреналин и серотонин) еще и в адренергических нервных волокнах вегетативной нервной системы.

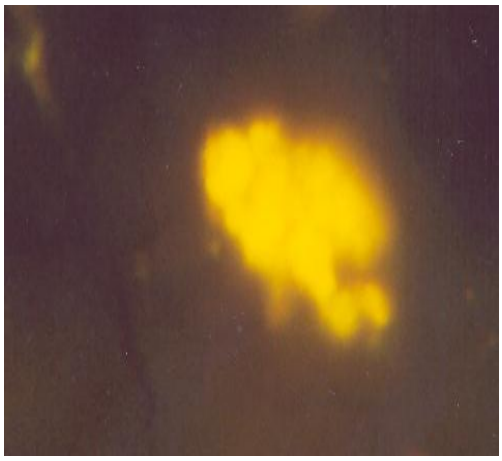


Рис. 3. Наибольшее содержание гистамина определяется в ГЛК. Метод Кросса. ЛЮМАМ-2. Ув имм..

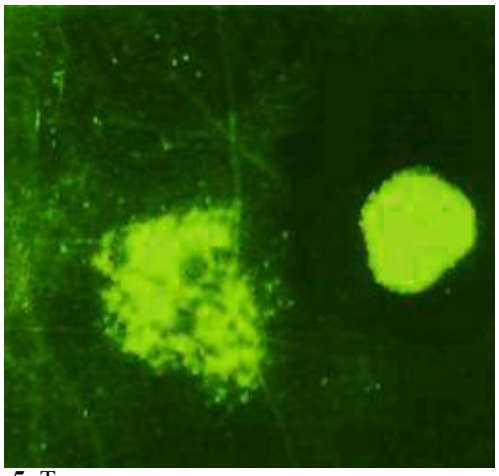


Рис. 5. Тучные клетки на разных стадиях развития. Метод Фалька. Микроскоп МЛ-2. Ув. Имм.

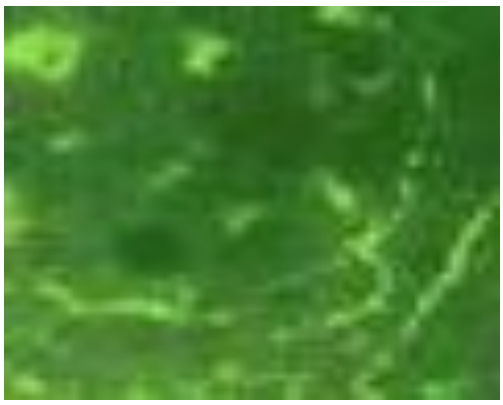


Рис. 6. Адренергические нервные волокна в костном мозге крыс около островков размножения. Метод Фалька. Микроскоп МЛ-2. Ув. имм

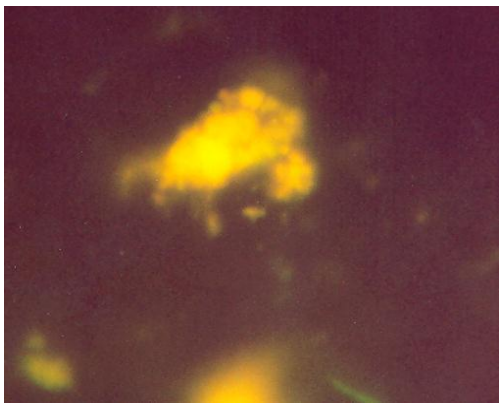


Рис. 7. ГЛК костного мозга через 20 мин после снятия иглы: крупные ГЛК с хорошо заметным ядром. Метод Фалька. ЛЮМАМ-4. Об.90 Гомаль 1,7.

ГЛК и тучные клетки способны накапливать, поглощать и продуцировать биологически активные вещества. Найдено, что ГЛК, наряду с тучными клетками, участвуют в нейроэндокринной – автономной (местной) регуляции органов (Райхлин Н.Н., 1989; Яглов В.В., 1989, Ермолаев В.В., 1993: Моисеева О.И., 2000). Было выявлено, что часть ГЛК являются макрофагами (дендритными, интердигетирующими), а часть из них определяются как нейроэндокринные и относятся к диффузной нейроэндокринной системе. В них были выявлены нейроспецифическая энолаза, синаптофизин, вещество Р и другие нейропептиды и их ферменты (Лузикова Е.М., 2008; Гурьянова Е.А., 2010). При постановке параллельных реакций Кросса с соавт. (1971) и Фалька (1969), следует отметить, что только часть ГЛК и тучных клеток костного мозга, выявляемых на КА и серотонин, содержат гистамин. В нервных волокнах содержание КА было не всегда однозначным.

После 10 мин. экспозиции иглы в точке и сразу после ее извлечения содержание гистамина и КА в ГЛК и тучных клетках имело небольшую тенденцию к понижению (рис. 6-7). В этих же клетках содержание серотонина, наоборот, повышалось. Через 30 мин. после акупунктуры происходит уменьшение числа ГЛК без изменения содержания в них гистамина по сравнению с предыдущим сроком. Однако, по сравнению с интактными крысами, его содер-

жание оставалось несколько пониженным (рис. 10). Содержание КА и серотонина остается неизменным, однако, число моноаминосодержащих ГЛК резко увеличилось в основном за счет люминесцирующих макрофагов. В клетках костного мозга содержание гистамина несколько увеличивается (рис. 8). Наряду с дегранулирующими тучными клетками увеличилась выявляемость мелких, компактных молодых клеток, что говорит о стимулирующем воздействии акупунктуры на данные клетки. В них резко увеличилось содержание КА.

Через 4ч после акупунктуры содержание гистамина в ГЛК резко повышается, однако число цельных клеток сокращается. Резко повышается содержание гистамина в клетках костного мозга (рис. 9). Число ГЛК резко снижается до 1,7 вместо 6,6 у интактных. Часть гранул не люминесцируют. В этом случае мы можем говорить или о дегрануляции (распадении) клеток, или о покрытии части гранул в клетке каким-то веществом, скорее всего белком (Агафонкин С.А., 2007). Большинство тучных клеток дегранулировало с полным распадом. Содержание гистамина в оставшихся ГЛК и тучных клетках увеличилось (см. рис. 10, 11). Содержание остальных изучаемых моноаминов снизилось, за исключением ГЛК, где содержание серотонина было повышенным (рис. 11).

Для того, чтобы понять, какие взаимоотношения по нейроаминам существует между ГЛК и тучными клетками, необходимо определить корреляционный анализ и выявить, как это отражается на миелограмме.

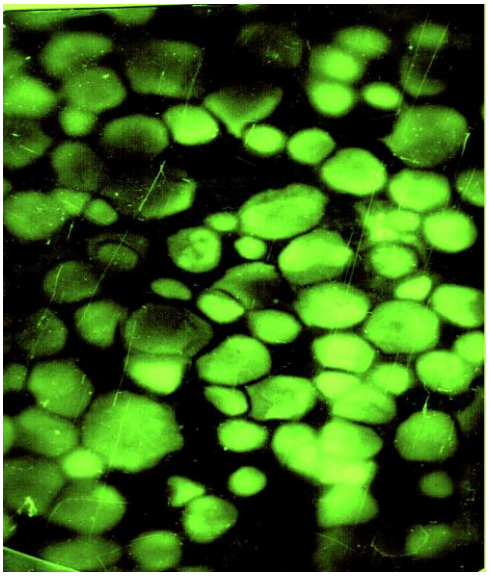


Рис. 8. Люминесценция гистамина в клетках костного мозга крыс:
а. Эритробласт; б. Сегментоядерный нейтрофил; в. Эозинофил Метод Кросса. МЛ-2 Увеличение 200.

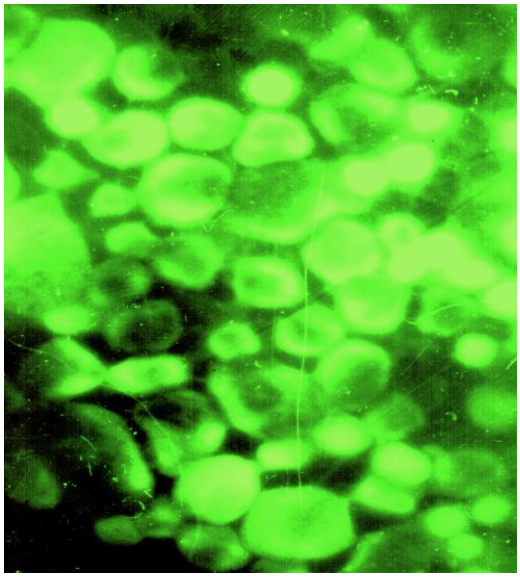


Рис. 9. Локализация гистамина в структурах костного мозга крыс. А. гранулярная люминесцирующая клетка, содержащая гистамин. б. жировые клетки; в) нейтрофилы; г) моноциты; д) лимфоциты. Метод Кросса. ЛЮМАМ –4. Об.40.

Если взять за ведущую структуру ГЛК и проследить взаимоотношения между ГЛК и тучными клетками, то по гистамину у интактных животных это соотношение будет равным 0,75. В этом случае мы можем сказать, что эти клетки работают в тандеме. Синтез идет как в одной, так и в другой клетке одновременно. При исследовании корреляционных соотношений между этими двумя популяциями клеток по КА, то у интактных животных корреляционная связь между этими двумя видами клеток минимальна и равна 0,26. Очевидно, что основной поставщик КА к клеткам не ГЛК и не тучные клетки, возможно адренергические нервные волокна.

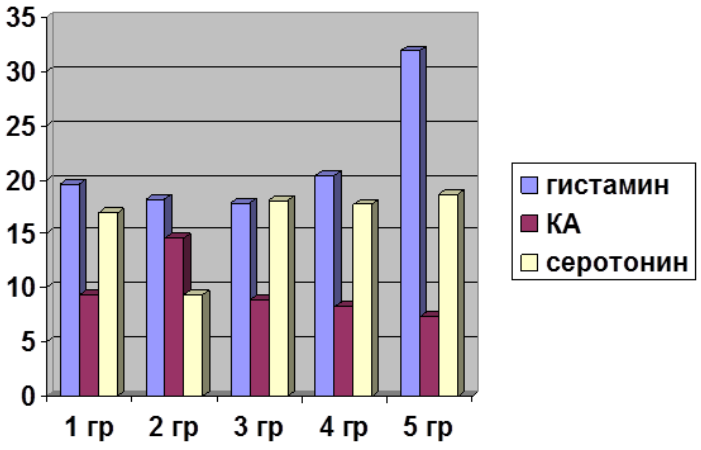


Рис. 10. Гистограмма числовых показателей нейроаминов в ГЛК костного мозга после иглоукалывания.

По серотонину связь хорошая, равная 0,73. Эти 2 популяции клеток также работают в тандеме. По данным Л.А. Любовцевой (1993) гистамин сдерживает дифференцировку бластных клеток в костном мозге, а серотонин способствует созреванию клеток на конечной стадии. В зависимости от количественного соотношения этих двух популяций клеток идет дифференцировка клеточного материала. При взятии материала сразу после иглотерапии корреляционные взаимоотношения по гистамину не изменяются. Из этого следует, что на этом сроке иглоукалывание никак не влияет на гистаминовый синтез в изучаемых клетках. По КА сразу после снятия иглы появляется связь равная 0,58. В этом случае можно говорить об активации симпатического звена вегетативной нервной системы. По серотонину связь остается сильной, равной 0,77.

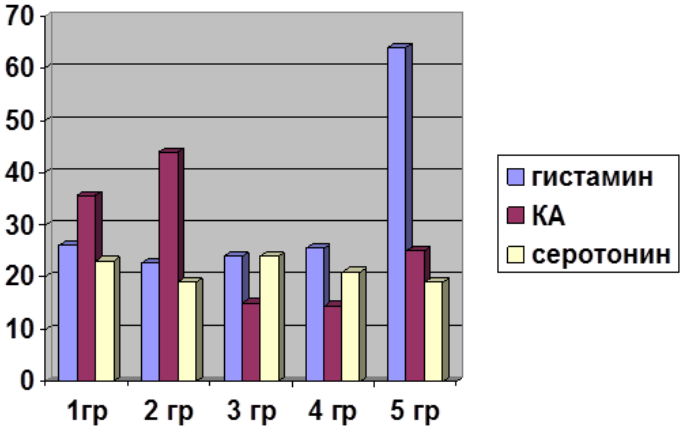


Рис. 11. Гистограмма числовых показателей нейроаминов в тучных клетках костного мозга после иглоукалывания.

Через 30 мин по гистамину во взаимосвязи ГЛК/тучная клетка не изменяются условия взаимодействия этих клеток, так как корреляционные взаимоотношения остаются на уровне 0,8. По КА это соотношение не изменилось, а по серотонину корреляционная связь усиливается и становится равной 0,83. К 4 часам часть тучных клеток дегранулируют, а в оставшихся клетках эта связь становится равной 0,5. По КА взаимодействие этих клеток резко снижаются до 0,3, а по серотонину эта связь еще более усиливается и становится равной 0,95.

Серотониновы индекс в ГЛК у интактных животных больше 1 и равен 1, 8. Сразу после снятия иглы серотониновый индекс становится равным 2,03, через 30 мин - 2,13, а через 4 часа он уже равен 3,5.

В тучных клетках у интактных животных серотониновый индекс меньше 1. В этом случае можно говорит о влиянии нервной системы на эти клетки.

Сразу после снятия иглы он становится равным 1,5, через 30 мин еще более увеличивается и становится равным 1,7. Через 4 часа серотониновый индекс вновь становится меньше 1 и равен 0,8. При исследовании миелограммы крыс сразу после акупунктуры увеличивается процент эозинофильных миелоцитов, эозинофильных метамиелоцитов, клеток базофильного ряда, моноцитов и лимфоцитов. Из этого следует, что идет активация всех тех клеток, которые отвечают за клеточный и гуморальный иммунитет.

Через 30 мин после иглоукалывания еще более увеличивается процент моноцитов и лимфоцитов, снижается число клеток базофильного ряда. Остается повышенным число плазмоцитов. Через 4 часа после иглоукалывания остается повышенным процент моноцитов, лимфоцитов, и плазмоцитов. Снижается процент клеток базофильного ряда.

Таблица 3

Миелограмма крыс после акупунктуры

Название клеток	Норма	Сразу после АП	Через 30 мин. после	Через 4 час после
Эритробласты	3,4±0,6	3,4±0,6	3,4±0,6	2,4±0,6
Нормоциты базофильные	5,4±0,3	4,4±0,3	4,4±0,7	3,4±0,7
Нормоциты полихроматофильные	12±1,4	10,3±1,3	11,1±0,8	10,1±0,8
Нормоциты оксифильные	28,5±4,2	26±3,3	27±3,5	27±3,5
Миелобласты	4,1±1,7	6,1±1,6	3,0±1,6	3,0±1,6
Миелобласты нейтрофильные	1,2±0,3	1,6±0,1	1,1±0,2	1,1±0,2
Нейтрофилы палочкоядерные	4,1±1,3	1,2±0,7	2,1±1,0	3,1±1,0
Нейтрофилы сегментоядерные	24±3,2	19±3,0	20,1±3,1	20,1±3,1
Миелоциты эозинофильные	3,4±0,5	5,1±1,3	4,6±1,4	3,6±1,4
Метамиелоциты эозинофильные	2,1±0,3	6,1±1,8	3,2±0,5	2,2±0,5
Эозинофилы палочкоядерные	1,5±0,1	1,8±0,3	2±0,4	2±0,4
Эозинофилы сегментоядерные	1,3±0,3	2±0,4	2,1±0,3	2,1±0,3
Клетки базофильного ряда	2,2±0,5	6,2±1,6	1,0±0,5	1,0±0,5
Моноциты	1,3±0,2	2,5±0,3	4,5±0,2	6,5±0,2
Лимфоциты	4,8±0,7	9,3±1,5	9,3±1,7	9,3±1,7
Плазмоциты	0,7	1,1±0,1	1,1	3,1

Примечание: подсчет проводили на 500 клеток у 60 крыс.

Иглоукалывание практически не затрагивает клетки эритроидного ряда. Таким образом, изучаемые нами нейроамины в ГЛК и тучных клетках взаимозависимы. Иглотерапия оказывает сущуствнное влияние на синтез и функционирование основных нейроаминов, которые одновременно являются нейротрансмиттерами. Под действие иглотерапии в ГЛК происходит постепенное нарастание гистамина и серотонина. Одновременно происходит увеличение серотонинового индекса, т.е. происходит сдерживание усиленного размножения бластных форм клеток за счет увеличения содержания гистамина и усиленная их дифференцировка, за счет увеличения серотонина. Эти два вещества начинают работать в противофазе.

В тучных клетках на первых 2-х сроках также происходит усиление серотонинового индекса и ускорение дифференцировки клеток.

Выводы.

1. Иглотерапия в точку TR-20 влияет на функциональное состояние биоаминсодержащих клеток в костном мозге.
2. Под влиянием введенной иглы происходит корреляционная перестройка взаимосвязей между нейроаминами и изменяется серотониновый индекс с максимумом изменений через 4 часа после иглоукалывания.
3. Иглотерапия влияет на миелограмму, вызывая повышение клеточных форм, отвечающих за иммунную реакцию в организме.

Список литературы

[1] Агафонкин С.А. Исследование биогенных аминов и биоаминсодержащих структур костного мозга человека при нарушении гемопоэза. Автореф. дисс. на соиск. канд. мед. наук, 2006, 23 с.

[2] Гимальдинова Н.Е. Влияние ауто- и изогенной пересадок костного мозга на нейромедиаторные структуры тимуса. Автореф. дисс. на соиск. к.. м. н. 2008, 27 с. 24.

[3] Ермолаев В.В., Любовцева Л.А. Гистохимическое исследование костного мозга при действии рентгеновского облучения / Сб Влияние антропогенных факторов на структурные преобразования органов. Саратов. 1993. С. 78-80.

[4] Любовцева Л.А. Люминесцентно-гистохимическое исследование аминосодержащих структур костного мозга, тимуса и крови при действии нейромедиатороы и антигенов Чебоксары, ЧГУ, 1993, 100 с.
[5] Моисеева О.И. Физиологические механизмы регуляции эритропоэза. М. Наука. 2000.
[6] Райхлин Н.Н., Махник Г. АРУД-система (диффузная эндокринная система): новые данные и направления исследований. //Успехи современной биологии. М.Наука. Вып. 2. 1989. С. 209-223.
[7] Яглов В.В. Актуальные проблемы биологии диффузной эндокринной системы //Архив АГЭ. 1. 1989. С. 14-29.

ГРИПП ПТИЦ. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ И МЕРЫ КОНТРОЛЯ

В. А. Наместников[1,2], Р. Х. Равилов[2]

[1]Главный ветеринарный врач ГБУ РМЭ «Марийская станция по борьбе с болезнями животных», г. Йошкар-Ола, ул. Красноармейская, 41
[2]ФГОУ ВПО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана», г. Казань, ул. Сибирский тракт, 35

Описаны эпизоотологические особенности высокопатогенного гриппа птиц, клинические признаки болезни. Приведен анализ эпизоотической ситуации по гриппу птиц в Российской Федерации и в мире. Освещен комплекс мероприятий по профилактике и борьбе с ВПГП в Республике Марий Эл.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) уже давно признает, что безопасность, в особенности биологическая, является важной международной проблемой. Среди инфекционных болезней млекопитающих и птиц, грипп представляет наиболее важную и актуальную проблему в связи с возникновением в природе новых штаммов, вызывающих эпизоотии и эпидемии. Уникальным возбудителем гриппа животных является вирус гриппа рода А который, обладает способностью изменять свою антигенную структуру и патогенность в отношении разных биологических видов.

Наибольшую опасность представляет один из его подтипов - H5N1, который не только нанес огромный экономический ущерб промышленному птицеводству, но и перешел, так называемый видовой барьер. В мире с 2003 по 2006 г. гриппом птиц заболело 258 человек, из которых 153 скончались.

Панзоотия высокопатогенного гриппа птиц H5N1, начавшаяся в конце 2003 г. в Юго-Восточной Азии, в течение 6 последующих лет постепенно охватывает новые страны на всех континентах за исключением Америки и Австралии. В 2007-2008 гг. вспышки ВПГП регистрировали не только в мелкотоварных и подворных хозяйствах, но и на крупных коммерческих фермах в Корее, Японии, Англии, Венгрии, Чехии, Германии, Польше, Вьетнаме, Саудовской Аравии, Египте, Индонезии, России. Масштабность драматического воздействия гриппа птиц на человечество становится ощутимой, если принять во внимание многомиллиардную численность диких и домашних птиц на Земле. Крайне усугубляет опасность пандемического распространения воздушно-капельный путь передачи смертельного вируса. Фактором дестабилизации во всем мире является еще и то, что вирусы гриппа птиц (ВГП) переносятся на большие расстояния дикими стаями, среди которых водоплавающие являются естественным, постоянно функционирующим резервуаром культивирования возбудителя. Способствует глобальному распространению, вирусоносительство, как правило, не сопровождаемое клинически выраженными заболеваниями. Особенность эту следует рассматривать ключевой с эпизоотологических позиций, так как заражение вирусом гриппа пти-

чьих популяций не снижает их потенциальных возможностей преодолевать значительные расстояния при ежегодных весенне-осенних миграциях.

Перелетные водоплавающие птицы, особенно дикие утки, являются естественным резервуаром всех вирусов гриппа А. Птичий грипп существует также в высокопатогенной форме. Среди 16 основных подтипов вируса гриппа А лишь подтипы штаммов Н5 и Н7 вызывают высокопатогенную форму птичьего гриппа, которая является высококонтагиозной и вызывает быструю смерть среди подверженных ей видов птицы. Куры и индейки особенно подвержены эпизоотиям; в качестве причины часто рассматривается прямой или косвенный контакт домашнего поголовья с дикой водоплавающей птицей. Рынки живой птицы также играют важную роль в распространении эпизоотий. Птицы, перенесшие инфекцию, могут выделять вирус вплоть до 10 дней через слюну и фекалии, способствуя таким образом дальнейшему распространению. Помимо распространения ВПГП H5N1 азиатской линии зарегистрированы локальные вспышки ВПГП H7N3 (Канада, промышленные несушки), H7N7 (Болгария, дикая птица), а также циркуляция низкопатогенных вирусов подтипов Н5 (США, Португалия, Доминиканская Республика) и Н7 (США, Италия, Англия, Пакистан, Корея) в 2007-2008 гг.

Эпизоотическая ситуация по гриппу птиц H5N1 в РФ и в мире.

В 2005 г. было зарегистрировано 117 вспышек ВПГП среди домашних птиц в 10 субъектах РФ и два случая среди диких птиц в 2 субъектах, в результате эпизоотии пало 26 844 гол., уничтожено 609 250 гол.

В 2006 г. зарегистрировано 94 неблагополучных пункта в 16 субъектах РФ, в том числе 11 случаев в дикой фауне. Всего пало 1 047 324 гол. и уничтожено при ликвидации очагов болезни 335 193 птиц.

В 2007 г. зарегистрировано 23 неблагополучных пункта в 5 субъектах РФ. Пало и уничтожено около 763 тыс. птиц.

В 2011 году эпизоотии продолжаются в 9 странах – Бангладеш, Вьетнам, Гонконг (Китай), Камбоджа, Мьянма, Республика Корея, Япония, Египет, Индонезия. Глобальное распространение вируса ВПГП H5N1 имело начало в Китае в апреле 2005 г. в провинции Цинхай, когда пало более 6000 диких водоплавающих птиц. Это была самая крупная вспышка среди диких мигрирующих птиц. Далее произошло распространение ВПГП H5N1 на огромной территории.

Возможность повторения сценария развития эпизоотической ситуации по гриппу птиц 2005-2006 гг. представляется вполне вероятной.

Меры борьбы и профилактики с гриппом птиц в РФ регламентированы действующими «Правилами по борьбе с гриппом птиц», «Ветеринарными правилами содержания птиц на личных подворьях граждан и птицеводческих хозяйствах открытого типа», «Ветеринарными правилами содержания птиц на птицеводческих предприятиях закрытого типа». Контроль базируется на применении вакцинации поголовья вокруг очагов и плановой иммунизации домашних птиц в зонах повышенного риска.

Для специфической профилактики гриппа птиц на территории РФ используют инактивированные эмульгированные вакцины из штамма H5N1 ФГУП «Ставропольская биофабрика» и ОАО «Покровский завод биопрепаратов». За рубежом применяют коммерческие вакцины, включающие гемагглютинин H5, H7, H9 и нейраминидазу N1, N2, N9, фирм Intervet, Lohmann и др., позволяющие достаточно надежно предотвращать вспышки гриппа птиц.

В Республике Марий Эл. В настоящее время в Республике Марий Эл функционируют 8 птицеводческих хозяйств, где содержится более двух миллионов голов кур мясного и яичного направления, 15 тысяч голов гусей и 2,5 тысяч голов цесарок. В личном подворье граждан содержится более 500 тысяч голов кур, гусей, уток и другой домашней птицы. В связи с неблагополучной обстановкой в ряде регионов РФ по гриппу птиц, в Республике Марий Эл был принят Комплексный план мероприятий по недопущению заноса и распространения

гриппа птиц среди домашней птицы в частных подворьях и птицеводческих хозяйствах, а также снижения риска возможной заболеваемости населения Республики Марий Эл. Согласно утвержденному плану мероприятий, в целях предотвращения заболеваний птиц заразными болезнями и недопущения на потребительский рынок потенциально опасной продукции, обеспечения ветеринарного и санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Марий Эл, проводится следующая работа: в ходе плановых проверок птицеводческих хозяйств по охране от заноса возбудителей заразных болезней и соблюдению ветеринарно-санитарных правил установлено, что все птицефабрики работают в режиме закрытого типа, при въезде на их территорию оборудованы санитарные пункты для дезинфекции автотранспорта и тракторов. Допуск на территорию птицефабрик обслуживающего персонала осуществляется строго через санпропускник. Запрещен пропуск посторонних лиц на территорию птицефабрик. Для раздачи кормов и вывоза птичьего помета на постоянной основе закреплены транспортные средства без отрыва на другие работы. Запрещен ввоз кормов и кормовых добавок на территорию птицефабрик из неблагополучных по заразным болезням птиц регионов и без ветеринарных сопроводительных документов. Запрещен выезд работников птицефабрик в регионы неблагополучные по заразным болезням птиц. Запрещено содержание домашней птицы в личных подворьях работников птицеводческих хозяйств. Запрещено использование оборотной тары, отгрузка птицеводческой продукции производится только в одноразовой таре. Постоянно проводится отстрел перелетной и синантропной птицы. Ведется регулярная системная работа по уничтожению грызунов и насекомых. Создан необходимый запас дезинфицирующих средств (каустическая сода, формалин, хлорная известь и др.). Ветеринарная служба птицефабрик ежедневно проводит клинический осмотр всего поголовья птицы, а также проводит патологоанатомическое вскрытие павшей птицы, с целью выяснения причин падежа.

Силами государственной ветеринарной службы районов проводится регулярный подворный обход с проведением клинического осмотра птицы, находящейся в личных подворьях граждан, с целью выявления подозрительных в заболевании птиц, при этом обязательно составляется акт обследования птицепоголовья. Одновременно проводится разъяснительная работа среди населения о гриппе и других заразных болезней птиц через средства массовой информации (телевидение, радио, газеты) и выступления на районных совещаниях, сельских сходах. Несмотря на относительно спокойную эпизоотическую ситуацию, занос вируса ВПГП на территорию страны продолжается. Существующая стратегия борьбы, включающая вакцинацию домашних птиц, подверженных угрозе заражения от диких птиц, адекватна текущей эпизоотической ситуации. Главным залогом успеха являются быстрота и решительность действий со стороны всех должностных лиц, начиная с принятия незамедлительных мер по постановке диагноза и заканчивая оперативным проведением мероприятий по ликвидации вспышек ВПГП.

Список литературы

[1] Бакулин В.А., «Диагностика и эпизоотолого-эпидемиологические тенденции гриппа птиц». Вопросы вирусологии 82/2. Санкт-Петербург, 2006.

[2] Беляев А.Л., Слепушкин А.Н. Грипп птиц – глобальная проблема // Журн. РЭТ-инфо. – 2004. – № 3 (51). – С. 39–43.

[3] Лагуткин Н. А., Колбасов Д. В. Грипп птиц – опасный зооноз. // Ветеринария. – 2005. – № 10. – С. 16–18.

[4] Осидзе Н. Г. Грипп птиц: этиология, патогенез, диагностика, специфическая профилактика, меры борьбы. Автореф... дисс. докт. биол. наук. – М., 1980 г.

[5] Птичий грипп // Научно-производственный справочник. – Центральн. научн. сельскохоз. библ. М., 2007 г.
[6] Экология и эволюция вирусов гриппа в России (1979-2002 гг.) / Д. К. Львов, С. С. Ямникова, И. Т. Федякина и др. // Вопросы вирусологии. – 2004. – Т. 49. – № 3. – С. 17–24.

УДК 619:515.5:636.22.28

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «АИД-1» НА СОСТОЯНИЕ КОПЫТНОГО РОГА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

[1] С. Ю. Смоленцев, И. П. Зелди[2], И. И. Попов[3]

[1]ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола
Smolentsev82@mail.ru
[2]ООО «Нео-Экоблеск», г. Йошкар-Ола, popov@marsu.ru
[3]ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, popov@marsu.ru

Массовый переход на беспривязное содержание животных на фермах КРС таит в себе много тонкостей, с которыми прежде не приходилось сталкиваться специалистам, работавшим на фермах с привязной системой содержания. Как показала практика, фермы с новыми технологиями не прощают пренебрежения к выполнению повседневных технологических требований. То, что мы в России, привыкшие мыслить глобально и стратегически, зачастую считали бы мелочью, не влияющей на результат, иногда может привести не только к огромным убыткам на ферме, но иногда даже к необратимому процессу – потере потенциального поголовья [1;2].

Здоровье копыт является критическим фактором на фермах с беспривязным содержанием. На таких фермах корове приходится довольно много ходить по твердому бетонному полу, проделывая путь к кормовому столу, к поилкам, в доильный зал. От этого копыта быстро изнашиваются, что стимулирует рост рогового слоя [3;4]. Перед запуском новой фермы, на которой будет содержаться имеющееся поголовье, очень важно своевременно обработать копыта, подготовить копыта ранее не двигавшихся коров к большим нагрузкам. Иначе будет большая выбраковка из-за проблем с ногами и копытами [5;6]. Обеспечение здоровья копыт – это продолжительный процесс роста и стрессов, нежелательных явлений. На существующие явления наслаиваются новые проблемы, создавая повторяющийся цикл [7;8]. Для обеспечения здоровья копыт в условиях крупных животноводческих комплексов наибольшую популярность приобрело применение дезинфицирующих ванн с дезрастворами.

В качестве дезрастворов в настоящее время применяются: 10%-ная сернокислая медь, 3%-ный креолин, 5%-ный ихтиол, 3%-ный нафтализол, 10%-ный формалин, 10%-ный сульфат цинка и другие. Хотя они являются дешевыми, однако они малоэффективны в виду того что некоторые из них как, например, сульфат цинка обладают избирательным действием. Другие, как формалин и креолин являются высокотоксичными. А третьи, как медный купорос оказывает прижигающее действие на раневые поверхности копыт больных животных и поэтому раны заживают очень медленно.

В ООО «Орол» (г. Йошкар-Ола) был разаработан трехкомпонентный препарат «АИД-1» для профилактики и лечения некробактериоза крупного рогатого скота.

Целью данных исследований явилось изучение влияния данного препарата на гистологическую структуру копытного рога крупного рогатого скота.

Материалы и методы. Научно-производственный опыт был проведен на базе учебно-опытного хозяйства Марийского аграрного коллежа филиала Марийского государственного

университета, где по принципу аналогов были подобраны 2 группы коров по пять животных в каждой. В первой группе коров копытный рог обрабатывали 5% раствором препарата «АИД-1» в течение 15 минут. После истечения данного времени с помощью копытного ножа были взяты образцы копытного рога у всех животных. Повторное взятие проб копытного рога проводили через 1, 2, 4, 6 часов. Образцы копытного рога были помещены в 10% раствор формалина. После чего данные образцы были залиты в парафин. Гистологические срезы были сделаны с помощью микротома и затем окрашены гематоксилин-эозином. После их окраски гистосрезы подвергали микроскопии.

Результаты исследований. В копытцевой кайме отмечались три основных слоя: эпидермис, основа кожи и подкожный слой. Основа кожи каймы достигала в ширину 4-7 мм, на поверхности ее имеются сравнительно длинные (0,9—1,2 мм), редко расположенные сосочки. Подкожный слой каймы был представлен коллагеновыми и эластическими волокнами, развит слабо и представляла собой неоформленную соединительную ткань. В роговом слое эпидермиса (Рис. 1) отмечали роговые и межтрубчатые трубочки, без видимых границ переходит в стенку копытца. Основа кожи венчика состоит из сосудистого и сосочкового слоев. Сосудистый слой был представлен густой сетью мелких кровеносных и лимфатических сосудов, образующих по периметру копытца сосудистое кольцо.

Сосочковый слой имеет многочисленные сосочки длиной до 1,8 мм, своей вершиной направленные дистально. Под основой кожи венчика отмечался подкожный слой соединительной ткани.Толщина рогового слоя в средней части абаксиальной стенки животных составляет 7 мм, а аксиальной – 5-6 мм. Копытца грудных конечностей более широкие, короткие и больше расходятся, чем копытца тазовых конечностей. Роговая стенка копытца на поперечном срезе состоит из трех слоев: поверхностного, среднего и глубокого (внутреннего).

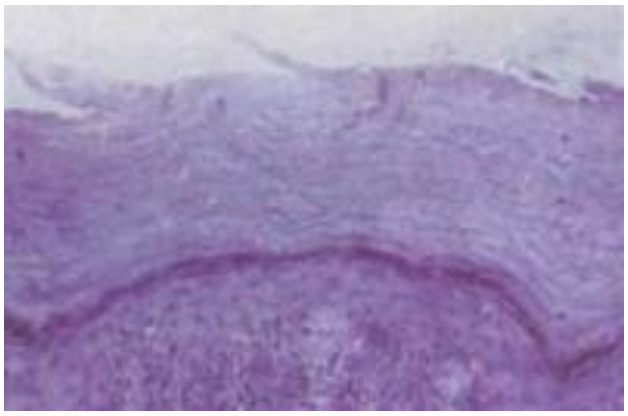


Рис. 1. Роговой слой эпидермиса

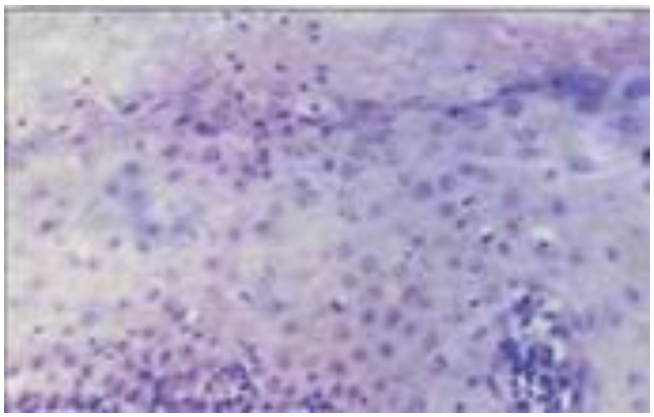


Рис. 2. Основа кожи копытцевой стенки

Глазурь, образованный эпидермисом каймы, легко отшелушивается, не достигая подошвенного края копытцевых стенок. Средний слой состоит из роговых трубочек и межтрубчатого рога, продуцируется производящим слоем эпидермиса венчика. Основа кожи копытцевой стенки (Рис. 2) был представлена листочковым, сосудистым и периостальным слоями. На поверхности основы кожи стенки имеется около 1000-1500 листочков. Листочковое строение основы кожи стенки сообщает такую же форму покрывающему его эпидермису, роговые листочки которого располагаются между листочками основы кожи. Копытцевая подошва имеет два основных слоя: эпидермис и основу кожи. Собственно подошва представлена в виде роговой пластинки толщиной 2-3 мм. Производящий слой основы кожи (Рис. 3), который продуцирует мягкий трубчатый рог, представлен в

виде сосочков. В области пальцевого мякиша под основой кожи залегал довольно развитый подкожный слой, который состоит из переплетающихся между собой прочных эластических и коллагеновых волокон с прослойками жировой ткани, что обусловливает его упругость и рессорную функцию.

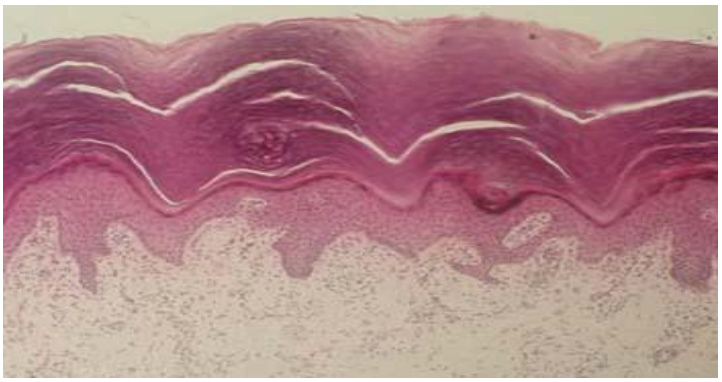


Рис. 3. Производящий слой основы кожи

В передней части толщина рогового слоя мякиша равна толщине роговой подошвы, а в задней части он постепенно истончается и сливается с эпидермисом волосистой кожи.

Заключение. Было отмечено, что в клетках и тканях поверхностного, среднего и глубокого (внутреннего) слоев копытного рога не произошли некротические и дистрофические изменения, что в свою очередь указывает на тот факт, что препарат «АИД-1» безопасен при наружном применении.

Список литературы

[1] В.А. Лукьяновский, *Влияние санитарно-гигиенических условий на патологию копытец у коров,* Москва (2006)
[2] В.А. Лукьяновский, *Нетрадиционные методы лечения в ветеринарной хирургии* / В.А. Лукьяновский, Москва (2000)
[3] В.А. Лукьяновский, *Профилактика и лечение заболевших копытец у коров* / В.А. Лукьяновский, Саротов (1999)
[4] А.А. Магомедов, *Ветеринарно-санитарные мероприятия при некробактериозе на ферме*, Москова (2004)
[5] И.Е. Мозгов *Фармакология*, Москва (2006)
[6] В.М. Нахмансон, *Дифференциальная диагностика инфекционных болезней сельскохозяйственных животных*, Москва (2005)
[7] И.Н. Никитин, *Организация и экономика ветеринарного дела,* Казань (2000)
[8] В.М. Подкопаев, *Инфекционные и инвазионные болезни молодняка крупного и мелкого рогатого скота*, Санкт-Петербург (2002)

ДИНАМИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТУДЕНТОК 1-2 КУРСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ АЭРОБИКИ И БИОПРЕПАРАТА «СЕЛЕНЕС+»

А. В. Панихина, И. Ю. Пахомова, А. А. Шуканов
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
Panianna@list.ru

The dynamics of anthropometric measurements, biochemical state and cardiovascular system of junior students are studied. Advisability of going in for therapeutic aerobics with the institution of biopharmaceuticals “Selenes+” to the 1-2 year female students is proved.
Изучена динамика параметров антропометрии, гематологической, биохимической картины и сердечно-сосудистой системы студенток младших курсов. Доказана целесообразность проведения занятий оздоровительной аэробикой с назначением биопрепарата «Селенес+» студенткам 1-2 курсов.
Ключевые слова: физиологический статус, адаптация, оздоровительная аэробика, «Селенес+»

1. Введение. Проблемы ухудшения здоровья обучающихся и развития негативных тенденций в их образе жизни являются предметом пристального внимания многих современных исследователей. В период адаптации студентов младших курсов к учебному процессу наблюдается напряжение функционального состояния организма, что обуславливается целым рядом вновь возникающих социально-экономических и экологических факторов, в том числе снижением физической активности и недостаточной обеспеченностью студентов необходимыми микро- и макроэлементами, сопровождающихся ослаблением иммунитета и возникновением заболеваний [1, 2, 3, 4]. Следовательно, внедрение инновационных методов и средств оздоровления обучающихся является актуальной проблемой современной физиологии. В этой связи **целью** нашей работы является изучение особенностей совершенствования физиологического статуса организма студенток 1-2 курсов в условиях использования оздоровительной аэробики и биогенного соединения «Селенес+».

2. Материал и методы исследований. Проведены две серии экспериментов и лабораторных исследований в течение I, II, III, IV учебных семестров (1-2 курсы) с привлечением 45 студенток в возрасте 17–20 лет факультета естествознания и дизайна среды ФГБОУ ВПО «ЧГПУ им. И.Я. Яковлева», разделенных на три группы по 15 чел. в каждой. По данным медицинского осмотра в МУЗ «Городская больница № 2» г. Чебоксары и индивидуального опроса, исследуемые студентки были зачислены в основную медицинскую группу. В обеих сериях экспериментов у студенток сравниваемых групп оценивали уровень физического развития (состояние здоровья). Для этого в начале (сентябрь, февраль), конце (декабрь, май) теоретического обучения, в периоды зимних (январь) и летних (июнь) экзаменационных сессий I-IV учебных семестров проводили оценку состояния антропометрии, гематологической, биохимической картины и сердечно-сосудистой системы. Студенткам 1 и 2 курсов за один месяц до начала экзаменационных сессий (декабрь, май) назначали плацебо (II группа) и биопрепарат «Селенес+» (III группа) согласно рекомендациям Министерства здравоохранения и социального развития РФ перорально по 1 драже ежедневно. При этом для девушек всех исследуемых групп проводили дополнительные занятия оздоровительной аэробикой 2 раза в неделю по 90 мин. Использовали следующие методы исследований: клинико-физиологические – определение роста, массы тела, индекса Кетле (ИК); изучение сердечно-сосудистой системы (ССС) – определение частоты сердечных сокращений (ЧСС); систолического и диастолического артериального давления ($АД_с$ и $АД_д$), систолического (СОК) и минутного (МОК) объемов кровообращения, пульсового давления (ПД), среднединамического давления (СДД), вегетативного индекса Кердо (ВИК), двойного произведения (ДП), индекса функциональных изменений (ИФИ); биохимические – определение в сыворотке крови концентрации селена, активности перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной системы (АОС); гематологические – определение в крови количества эритроцитов, уровня гемоглобина, числа лейкоцитов, цветного показателя (ЦП).

Обработка полученного в экспериментах цифрового материала проведена методом вариационной статистики на достоверность различия сравниваемых показателей с использованием программного комплекта статистической обработки «Microsoft Excel-2007».

3. Результаты исследований и их обсуждение. Установлено, что в I серии экспериментов рост исследуемых студенток 1 курса увеличивался по мере их взросления от 161,45±3,05–162,40±2,07 до 162,57±2,49–163,26±1,10 см без достоверной разницы в межгрупповом сопоставлении. Изменения массы тела у первокурсниц сравниваемых групп носили волнообразный характер, которые варьировали от 50,88±1,82 до 55,49±2,78 кг ($P>0,05$). Индекс Кетле варьировал в пределах физиологической нормы (19,98±0,67–21,13±0,82 против 19,10±0,52–20,35±0,42 у.е.) для девушек 17-20 лет($P>0,05$).

При анализе полученных гематологических данных установлено, что у первокурсниц I и II групп имела место тенденция к снижению числа эритроцитов в крови от начала теоре-

тического обучения к периодам экзаменационных сессий от 4,32±0,13–4,36±0,11 и 4,54±0,09–4,41±0,09 до 4,26±0,15–4,33±0,06 и 4,40±0,14–4,35±0,03 млн/мкл соответственно. У студенток III группы в указанные сроки, наоборот, наблюдали повышение этого гематологического параметра от 4,40±0,08–4,64±0,08 до 4,64±0,09–4,71±0,08 млн/мкл, который значительно превышал контрольные показатели в мае и июне (P<0,01-0,001). Колебания уровня гемоглобина в крови студенческой молодежи сравниваемых групп имели аналогичную характеру изменений количества эритроцитов закономерность. Динамика значений цветного показателя всецело соответствовала характеру колебаний числа эритроцитов и концентрации гемоглобина. Так, на протяжении I серии наблюдений ЦП менялся в диапазоне от 0,81±0,02 до 0,85±0,02 у.е., что соответствует физиологической норме для данной возрастной категории девушек (P>0,05). Отмечено, что количество лейкоцитов у исследуемых студенток волнообразно снижалось в течение 1 года обучения, межгрупповое различие в котором носило недостоверный характер.

При анализе биохимического профиля выявлено, что уровень селена в сыворотке крови первокурсниц I, II и III групп в начале первого учебного семестра составил соответственно 60,70±3,83, 62,60±3,43 и 64,70±2,81 мкг/л. В период как зимней, так и летней экзаменационных сессий у студенток III группы он был достоверно выше по сравнению с таковым у их сверстниц из I и II групп, что обусловлено применением биогенного препарата «Селенес+». Установлено, что активность перекисного окисления липидов у студенческой молодежи сравниваемых групп по мере взросления волнообразно повышалась от 3,49±0,36–3,88±0,23 до 4,09±0,04–4,45±0,14 mV). Причем первокурсницы III группы по изучаемому биохимическому параметру в июне уступали контрольным ровесницам на 8,1% (P<0,05). Если активности антиоксидантной системы у девушек I и II групп волнообразно снижалась от начала к концу 1 курса (1,28±0,08–1,42±0,09 против 1,18±0,05–1,30±0,04 mV/c), то у сверстниц III группы, наоборот она повышалась (1,33±0,08 против 1,47±0,03 mV/c). Следует отметить, что активность АОС у студенческой молодежи III группы была заметно выше таковой у первокурсниц I и II групп во все сроки исследований, особенно в периоды зимней и летней экзаменационных сессий. Так, в январе ее превышение составило 9,0–18,9%, а в июне – 13,1–24,6 % (P<0,001).

Анализ функционирования ССС показал, что значения ЧСС у изучаемых первокурсниц колебались в ходе I серии наблюдений от 72,50±4,48–73,60±3,22 до 76,70±1,92–80,50±1,15 уд/мин (P>0,05). При оценке динамики значений пульсового давления, отражающего функциональное состояние миокарда, у девушек всех групп выявлена тенденция зигзагообразного их понижения по мере взросления (42,10±3,26–44,70±2,07 против 37,70±1,76–41,40±2,62 мм рт. ст.). Причем максимальное ПД имело место в предэкзаменационные периоды как первого, так и второго полугодий (P>0,05). Установлено, что значения $АД_с$ у исследуемых студенток медленно повышались от начала учебных семестров к их концу (110,20±2,28–112,80±1,87 против 118,30±0,98–119,50±0,64 мм рт. ст.; P>0,05). Динамика показателей $АД_д$ всецело соответствовала характеру изменений таковых $АД_с$. При этом у изучаемых девушек они были относительно высокими в начале теоретического обучения I семестра и в периоды обеих экзаменационных сессий. При анализе динамики значений СОК, характеризующего количество выбрасываемой желудочками крови за 1 систолический период, выявлено, что у студенток подопытных групп они волнообразно снижались в возрастном аспекте (23,03±3,26–27,91±2,02 против 13,97±1,76–18,96±2,89 мл), которые были максимальными в предэкзаменационные периоды обоих семестров (P>0,05). Оценка значений МОК, характеризующего выбрасываемое сердцем в аорту или легочную артерию общее количество крови в течение 1 мин, показал, что у исследуемой студенческой молодежи они постепенно уменьшались по мере взросления от 1682,71±283,17–2054,75±176,63 до 1084,88±140,76–1450,85±215,93 мл (P>0,05). Анализ динамики значений ДП, характеризующего уровень потребления кислорода миокардом, показал, что у исследуемых девушек они зигзагообразно повышались от начала к концу учебного года (80,33±4,78–82,32±3,39 против 90,74±2,46–

95,32±1,90 у.е.) и без достоверной разницы в межгрупповом аспекте. Установлено, что характер колебаний СДД, косвенно характеризующего движущую силу кровотока, имел аналогичную закономерность (P>0,05). Расчет ВИК показал, что в начале учебного года у исследуемых первокурсниц число эйтоников, симпатокотоников, ваготоников составило 30-50, 30-60, 10-40%, в его конце – 20-60, 40-80, 0 % соответственно. Следует отметить, что во время экзаменационных сессий происходило увеличение числа симпатокотоников, что свидетельствует о доминирующем влиянии симпатического отдела вегетативной нервной системы, обусловленном психоэмоциональным напряжением организма.

Выявлено, что у студенческой молодежи всех групп значения ИФИ медленно повышались в возрастном аспекте от 1,87±0,07–1,96±0,07 до 2,08±0,04–2,17±0,04 у.е., что отражает состояние удовлетворительной адаптации организма к условиям обучения в вузе.

В течение II серии исследований рост второкурсниц сравниваемых групп постепенно увеличивался от 163,29±2,66–163,86±2,13 до 164,12±1,94–164,63±2,70 см. Диапазон значений массы тела изучаемых студенток составлял 50,20±1,61 - 53,75±1,02 кг (P>0,05). Значения ИК в течение 2 курса волнообразно колебались в пределах физиологической нормы для девушек 17-20 лет от 18,69±0,39–19,79±0,53 до 18,82±0,29–19,45±0,48 у.е. (P>0,05). Установлено, что если число эритроцитов у второкурсниц I и II групп уменьшалось от начала обоих учебных семестров к их завершению (4,55±0,14–4,37±0,13 против 4,23±0,08–4,23±0,09 млн/мкл), то у ровесниц III группы отмечено его постепенное нарастание по мере взросления от 4,45±0,09 до 4,67±0,09 млн/мкл. При этом количество эритроцитов у девушек этой группы превышало таковое сверстниц I и II групп к концу 2 года обучения на 9,2% (P<0,05). Характер изменений концентрации гемоглобина в крови соответствовал динамике числа эритроцитов, и у студенток III группы в конце IV учебного семестра уровень гемоглобина превышал таковой у сверстниц I и II групп на 7,4–12,4% (P<0,01-0,005). ЦП за период наблюдений находился в узком диапазоне колебаний от 0,81±0,02–0,85±0,02 до 0,82±0,02–0,84±0,03 у.е., без существенной разницы в межгрупповом разрезе. У второкурсниц сравниваемых групп число лейкоцитов волнообразно снижалось в возрастном аспекте (7,23±0,15–7,75±0,25 против 7,01±0,23–7,75±0,25 тыс/мкл; P>0,05). Концентрация селена в кровяной сыворотке наблюдаемых студенток в течение 2 курса колебалась от 62,50±3,22–72,40±3,14 до 61,60±5,05–108,90±6,29 мкг/л. Причем студентки III группы на всех этапах исследований имели достоверное превосходство по отношению к контрольным показателям. Если активность ПОЛ у второкурсниц I и II групп в возрастном аспекте медленно повышалась от 4,18±0,09–4,28±0,14 до 4,29±0,07–4,50±0,07 mV, то у девушек III группы, наоборот, волнообразно снижалась (4,08±0,19 против 3,82±0,13 mV). Студентки III группы в конце IV семестра уступали ровесницам I и II групп по данному биохимическому параметру на 11,0–15,1% (P<0,05–0,005). Активность АОС у девушек всех групп зигзагообразно повышалась по мере их взросления от 1,26±0,06–1,38±0,02 до 1,30±0,05–1,47±0,03 mV/c. При этом студентки III группы превосходили своих сверстниц контрольной и II групп в периоды и зимней, и летней экзаменационных сессий на 12,4–13,1% (P<0,05), что свидетельствует о более высокой устойчивости организма к гидропероксидному стрессу.

Значения ЧСС у изучаемых второкурсниц в ходе II серии наблюдений колебались от 73,80±1,46–75,90±1,49 до 78,10±3,32–86,60±3,34 уд/мин. Причем у девушек сравниваемых групп в январе и июне они были максимальными, причем в III группе эти значения были ниже на 1,9–7,8% (P>0,05) в сравнении с таковыми ровесниц I и II групп. Выявлено, что ПД у исследуемых студенток волнообразно снижалось в возрастном аспекте (42,10±2,18–44,20±3,10 против 40,80±2,69–42,80±1,51 мм рт. ст.; P>0,05). Значения $АД_с$ у второкурсниц всех групп зигзагообразно увеличивались от начала к концу учебного года без достоверной разницы в межгрупповом сопоставлении (114,40±1,452–117,80±1,77 против 117,80±0,66–120,30±1,18 мм рт. ст.). Характер колебаний АДд в целом соответствовал динамике значений

$АД_с$. Показатели СОК у студенческой молодежи подопытных групп волнообразно снижались в возрастном аспекте от 19,23±1,93–23,80±3,17 до 14,48±2,14–18,80±1,74 мл (P>0,05). Динамика значений МОК в целом соответствовала характеру изменений СОК (P>0,05). Значения ДП волнообразно возрастали по мере взросления девушек от 84,66±2,15–89,39±2,01 до 91,99±3,89–104,23±4,48 у.е. (P>0,05). Характер колебаний СДД в основном соответствовал динамике значений ДП без достоверной разницы в межгрупповом сравнении. В начале 2-го курса у девушек подопытных групп количество эйтоников, симпатикотоников, ваготоников равнялось соответственно 20-70, 20-50, 10-30%, а в конце его – 0-30, 60-70, 0-10%. Максимальное число симпатикотоников среди них выявлено в периоды как зимней (60-80%), так и летней (60-70%) экзаменационных сессий, что свидетельствует о психоэмоциональном напряжении организма. Оценка характера колебаний ИФИ показала, что его значения у исследуемых девушек волнообразно повышались в возрастном аспекте (1,94±0,04–2,08±0,03 против 2,08±0,03–2,26±0,05 у.е.; P>0,05), что означает состояние удовлетворительной адаптации организма к режиму обучения в высшей школе.

Итак, доказано, что к концу 2 курса студентки III группы, находящиеся в условиях проведения оздоровительной аэробики в комплексе с назначением биопрепарата «Селенес+», превышали ровесниц контрольной группы по числу эритроцитов, концентрации гемоглобина в крови, уровню селена, активности антиоксидантной системы в её сыворотке на 5,5–69,8%, а по активности перекисного окисления липидов в ней, напротив, уступали на 15,5% (P<0,05–0,01). Промежуточное положение по изучаемым параметрам между студентками I и III групп имели их ровесницы II группы, занимавшиеся оздоровительной аэробикой в комплексе с применением плацебо.

Список литературы

1. Агаджанян, Н. А. Здоровье студентов: стресс, адаптация, спорт: учебное пособие / Н. А. Агаджанян, Т. Е. Батоцыренова, Л. Т. Сушкова. – Владимир : Владимирский государственный университет, 2004. – 136 с.
2. Бондаренко, Е. В. Проблема оптимизации двигательной активности как компонента здоровой жизнедеятельности обучающихся в средней и высшей школе / Е. В. Бондаренко // Проблемы сохранения здоровья молодого поколения. – М., 2008. – С. 25–27.
3. Голубкина, Н. А. Характеристика пищевой цепи переноса селена в условиях Чувашии / Н. А. Голубкина, Д. В. Широков // Микроэлементы в медицине, 2003, Т. 4. – С. 11–15.
4. Conor Reilly Selenium in food and health. – 2006. – pp. 20–36.

ИССЛЕДОВАНИЕ CD-57$^+$ КЛЕТОК ТИМУСА ПРИ ВВЕДЕНИИ МЕЛАТОНИНА

О. А. Шатских, В. Е. Сергеева, Е. М. Лузикова

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова»
428015, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 45, медицинский факультет
e-mail: dum2dum@mail.ru

Целью работы было изучение изменений CD-57$^+$ клеток тимуса на введение мелатонина животным, содержащимся в различных световых условиях. Животным вводился мелатонин в дозе 0,03 мг/сутки в течение 2 и 4 недель при обычном освещении и искусственном затемнении. Парафиновые срезы тимуса обрабатывались иммуногистохимическим методом для выявления CD-57$^+$ клеток. Было выявлено, что длительное введение мелатонина в условиях искусственного затемнения оказывает иммуностимулирующее действие.

The aim of our research was to study the changes of CD-57$^+$ cells of the thymus on the introduction of melatonin to the animals, kept under different light conditions. The experimental animals were given melatonin in dose of 0.03 mg per day for 2 and 4 weeks under different conditions of lighting (by daylight and artificial darkening). We used the im-

munehistochemical method of staining of the paraffin sections to reveal CD-57^+ cells. The research showed that the long introduction of melatonin by artificial darkening has an immunostimulatory influence.

Ключевые слова: мелатонин, CD-57^+ клетки, тимус.
Key words: melatonin, CD-57^+ cells, thymus.

1. Введение. Мелатонин – нейропептид, синтезирующийся главным образом маленькой мозговой железой эпифизом, и обладающий уникальным влиянием на организм человека и животных [9]. Синтезируемый мелатонин представляет собой филогенетически древний гормон, который присутствует в мире животных практически повсеместно, включая и даже некоторые одноклеточные организмы [4,6].

В организме мелатонин выполняет множество разнообразных функций: участвует в синхронизации циркадных ритмов [1,2,3,6,7,9], оказывает иммуностимулирующее действие [3,7,9,10], является сильным антиоксидантом [1,8,9,15], обладает нейротрансмиттерными функциями [1], влияет на все гипоталамо-гипофизарные гормоны [8,9], регулирует температуру тела [3]. Также гормон обладает снотворным эффектом [2,3,9], проявляет ноотропные и дезагрегационные свойства [3], угнетающе влияет на развитие опухолей [1,2,3,9,13,14], а также выявлена роль мелатонина в замедлении старения организма [1,8,9]. Низкие значения ночного мелатонина приводят к депрессивным состояниям. [6]. Ввиду множества функций гормона, мелатонин находит широкое применение в медицине, и активно вводится в схемы терапии различной патологии: онкологических заболеваний [2,3,13], инсомнии [3], психических расстройств [3,12], заболеваний сердечно-сосудистой системы [9], дыхательной системы [7], кожи [7].

Известно, что экзогенный мелатонин способен увеличивать количество натуральных киллеров и их активность в тимусе. [16], Влияние мелатонина в разных условиях освещенности на натуральные киллеры тимуса изучено недостаточно.

Цель работы – изучение изменений CD-57^+ клеток тимуса на введение мелатонина животным, содержащимся в условиях различного освещения. Естественные киллеры являются звеном первичной иммунной защиты, поэтому для оценки иммунного статуса организма под действием мелатонина нами были изучены CD-57^+ клетки (олигосахарид – антиген естественных киллеров. Данный антиген также присутствует у единичных Т-лимфоцитов, В-лимфоцитов и моноцитов, значения которых в данной статье не учитываются) [11].

2. Материалы и методы исследования. Объектом гистологического исследования служили тимусы 60 половозрелых белых нелинейных мышей-самцов 2-х месячного возраста. Животные были распределены на 5 групп: I – контрольная (n = 12) – животные, которые содержались в обычных условиях вивария (естественное освещение 400 лк, влажность воздуха 90% кормление животных в период 8^{00}-9^{00}); II – экспериментальная (n = 12), животные получали препарат мелаксен (синтезированный мелатонин) ежедневно в дозе 0,03 мг в сутки [9] в растворенном виде в течение 2 недель и находились в условиях обычного освещения; III – экспериментальная (n = 12), животные получали препарат мелаксен ежедневно в дозе 0,03 мг в сутки в течение 2 недель и находились в условиях искусственного затемнения; IV – экспериментальная (n = 12), животные получали препарат мелаксен ежедневно в дозе 0,03 мг в сутки в течение 4 недель и находились в условиях обычного освещения; V – экспериментальная (n = 12), животные получали препарат мелаксен ежедневно в дозе 0,03 мг в сутки в течение 4 недель и находились в условиях искусственного затемнения

Исследуемые органы у животных забиралась на 14-е и 28-е сутки эксперимента во второй половине дня (14^{00} – 15^{00}).

После фиксации в 10% растворе нейтрального формалина материал обезвоживали в этаноле постепенно возрастающей концентрации и заливали в парафин. Парафиновые срезы толщиной 5 мкм готовились на парафиновом ротаторном микротоме МПС-2 и после депарафинирования и ре-

гидратации в этаноле нисходящей концентрации срезы органов погружали в восстанавливающий цитратный буфер (pH 6,0). Затем проводили высокотемпературную обработку прогреванием на водяной бане при 90 - 95º С в течении 30 минут с целью демаскировки искомых антигенов в тканях. Срезы обрабатывались следующими методоми:

1) иммуногистохимическим методом для выявления CD-57$^+$ клеток, для чего были использованы anti-CD-57 моноклональные антитела. После ингибирования эндогенной пероксидазы 3% раствором перикиси водорода на метаноле проводили иммуногистохимическую реакцию методом трехэтапного непрямого иммуноферментного анализа с использованием первичных моноклональных антител (МКАТ) к гликопротеину CD57 (Mous anti CD57, Clone NK-1) в разведении 1:50 согласно рекомендации фирмы-изготовителя (Dako, Дания). Визуализацию связавшихся первичных МКАТ проводили стандартным биотин-стрептавидин-пероксидазным методом с использованием набора LSAB-2 (Labeled Streptavidin Biotin System Peroxidase) [5]. Для оценки специфичности иммунного окрашивания в каждом случае делали отрицательный контроль (обработка вместо первичных моноклональных антител контрольными антителами), результатом чего было отсутствие специфического иммунного окрашивания. На заключительном этапе срезы докрашивались толуидиновым синим по Нисслю.

2) методом количественного подсчета в 20 полях зрения микроскопа Микмед-5 (ОАО Ломо, Россия) при увеличении 1000 с последующим вычислением среднего арифметического значения для представления о количественном распределении окрашенных клеток в различных зонах тимуса.

3) статистическая обработка полученных данных.

Все действия, предусматривавшие контакт с лабораторными животными, осуществлялись с учетом требований «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных».

3. Результаты и их обсуждение. При исследовании срезов тимуса интактных животных были выявлены единичные клетки в препарате в мозговом веществе и субкапсулярной зоне.

В ходе исследования было выявлено, что введение мелатонина приводит к появлению исследуемых клеток в структурах тимуса всех экспериментальных групп животных.

В мозговом веществе тимуса количество CD-57$^+$ клеток более значительно увеличивается у животных III (3 клетки в поле зрения) и V (4 клетки в поле зрения) групп, у животных II и IV групп выявлено по 1 клетке в поле зрения. (рис. 1)

В кортико-медуллярной зоне тимуса наибольшее количество CD-57$^+$ клеток отмечено у животных V экспериментальной группы (6 клеток в поле зрения), у животных II и III групп выявлено по 1-2 клетки в поле зрения, у животных IV группы в окрашенных срезах тимуса количество CD-57$^+$ клеток составило 1 на 4 поля зрения. (рис. 1)

В глубокой корковой зоне тимуса наибольшее количество CD-57$^+$ клеток выявлено у животных III и V экспериментальной группы (2 и 3 клетки в поле зрения), у животных, получавших мелатонин на фоне естественного освещения, количество CD-57$^+$ клеток составило 1 на 10 полей зрения у животных II группы и 1 на 3 поля зрения у IV группы. (рис. 1)

Наиболее выраженная реакция на фоне введения мелатонина экспериментальным мышам выявлена в субкапсулярных зонах тимуса, где наибольшее количество CD-57$^+$ клеток отмечено у животных III и V экспериментальной группы (16 и 17 клеток в поле зрения). У животных II и IV среднее количество исследуемых клеток составило 10 и 5 в поле зрения соответственно (рис.).

Таким образом, введение мелатонина приводит к значительному увеличению натуральных киллеров в субкапсулярных зонах тимуса всех экспериментальных групп мышей, что свидетельствует о проявлении иммуностимулирующего действия гормона. У животных III и V экспериментальных групп количество исследуемых клеток значительно увеличивается как в корковом, так и мозговом веществе. Данный факт указывает на проявление более выраженного иммуностимулирующего действия гормона у животных на фоне искусственного затемнения, нежели мышей получавших гормон в условиях обычного освещения.

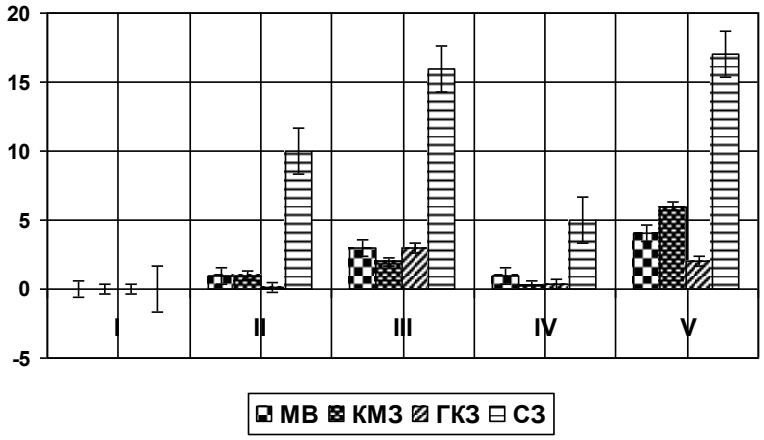


Рис. Изменение количества $CD57^+$ клеток в различных зонах тимуса экспериментальных животных на фоне введения мелатонина. Иммуногистохимический метод выявления натуральных киллеров.
По оси абсцисс – группы животных, по оси ординат – число клеток в поле зрения микроскопа МИКМЕД-5 при увеличении 10х100.
МВ – мозговое вещество, КМЗ – кортико-медуллярная зона, ГКЗ – глубокая корковая зона, СЗ – субкапсулярная зона тимуса.
I – контрольная группа; II и III – животным вводился мелатонин в дозе 0,03 мг в сутки в течение 2 недель при обычном освещении и искусственном затемнении соответственно; IV и V – животным вводился мелатонин в дозе 0,03 мг в сутки в течение 4 недель при обычном освещении и искусственном затемнении соответственно. I – стандартная ошибка.

Выводы:

1) Введение мелатонина приводит к появлению исследуемых клеток в структурах тимуса всех экспериментальных групп животных.
2) Наиболее выраженная реакция на фоне введения мелатонина экспериментальным мышам выявлена у животных III и V групп, т. е. длительно получавших препарат на фоне искусственного затемнения.

Список литературы

[1] Анисимов, В.Н. Мелатонин и его место в современной медицине / В. Н. Анисимов // *Русский медицинский журнал*, 2006, т. **14**, №4. С. 269 –274.
[2] Анисимов, В. Н. Световой режим, риск возникновения рака. Противоопухолевое действие мелатонина / В. Н. Анисимов // *Русский медицинский журнал*, 2007, т. **15**, №25. С. 1915–1918.
[3] Арушанян, Э.Б. Гормон эпифиза мелатонин и его лечебные возможности / Э.Б. Арушанян // *Русский медицинский журнал*, 2005, т.**13**, №26. С. 1755–1760.
[4] Ковальзон, В. М. Мелатонин – без чудес / В. М. Ковальзон // *Природа*, 2004, №2, С. 12–19.
[5] Коржевский, Д. Э. Основы гистологической техники / Д. Э. Коржевский, А. В. Гиляров. – СПб.: СпецЛит. 2010, С. 81–74.
[6] Кочетков Я. А. Мелатонин и депрессия: от теории к практике / Я. А. Кочетков // *Неврология и психиатрия*, 2006, №7, С. 79–83.
[7] Литвиненко, Г. И. Морфофункциональные изменения в клетках иммунной системы при нарушении светового режима и иммунопатологии: автореф. дис. канд. мед. наук. / Г. И. Литвиненко. – Новосибирск, 2011. – 42 с.
[8] Мальцева, Л.И. Роль мелатонина в развитии климактерического синдрома у женщин и возможности применения мелатонина в лечении симптомов патологического климакса / Л.И. Мальцева, Е.А. Гафарова // *Человек и лекарство*, 2007, т. **15**, №4, С. 266 –269.
[9] Мендель, В.Э. Мелатонин: роль в организме и терапевтические возможности. Опыт применения препарата Мелаксен в российской медицинской практике / В.Э. Мендель, О.И. Мендель // *Человек и лекарство*. Часть 2, 2010, т. **18**, № 6, С. 336 –342.
[10] Парахонский, А.П. Влияние мелатонина на иммунную систему / А. П. Парахонский // *Современные наукоемкие технологии*, 2007, № 11, С. 59.
[11] Хаитов, Р. М., *Иммунология* / Р. М. Хаитов. М.: ГЭОТАР – Медиа, 2006, 320с.
[12] Cardinali, D.P. The use of melatonin in Alzheimer's disease / D.P. Cardinali, L.I. Brusco, C. Liberczuk & A.M. Furio // *Neuroendocrinology letters*, 2002, №23, P. 20–23.

[13] Mills, E. Melatonin in the treatment of cancer: a systematic review of randomized controlled trials and meta–analysis / E. Mills, P. Wu, D. Seely, G. Guyatt // *J. Pineal Res.* 2005, №39, P.360–366.
[14] Pawlikowski, M. Oncostatic action of melatonin: facts and question marks / M. Pawlikowski, K. Winczyk & M. Karasek // *Neuroendocrinology letters*, 2002, №23, P. 24–29.
[15] Reiter, R.J. Melatonin: reducing molecular pathology and dysfunction due to free radical and associated reactants / R.J. Reiter, D.X. Tan, M. Allegra // *Neuroendocrinology letters*, 2002, №23, P. 3–8.
[16] Tian, Y.M. Melatonin rejuvenates degenerated thymus and redresses peripheral immune functions in aged mice / Y.M. Tian, G.Y. Zhang, Y.R. Dai // *Immunol Lett*. 2003. V. **88**. № 2. P. 101–104.

УДК 636.084.12; 591.362; 574.24

КОРРЕКЦИЯ РОСТА ТЕЛА И НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ У БЫЧКОВ НАЗНАЧЕНИЕМ НОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БИОПРЕПАРАТОВ

Г. А. Яковлев, А. А. Шуканов
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»

Проведена комплексная оценка биологической эффективности комбинированного использования бычкам «Селенопирана» и «Комбиолакса».

1. Введение. В рамках реализации приоритетного национального проекта «Развитие агропромышленного комплекса» особое внимание уделяется необходимости привлечения инвестиций в восстановление и расширение базы высокотехнологичного и экологически безопасного животноводства с эффективным производством качественного продовольствия отечественного производства [2]; [3].

Важнейшими веществами, обладающими одновременно адаптогенными, иммуногенными и антиоксидантными свойствами, являются соединения селена. Во-первых, они через индуцирование ферментных систем влияют на развитие иммунных реакций организма сельскохозяйственных животных [1]; во-вторых, замедляют образование пероксидов, препятствуют пероксидации жирных кислот и накоплению в организме ядовитых продуктов метаболизма, нормализуя тем самым обмен веществ [4]; [5]. В связи с этим целью исследований является изучение корригирующего воздействия биопрепаратов «Селенопиран» и «Комбиолакс» на клинико-физиологическое состояние, рост тела, гематологический, биохимический и иммунологический профили у бычков в разные периоды постнатального онтогенеза.

2. Материал и методика исследований. Проведена серия научно-хозяйственных опытов и лабораторных экспериментов на 3 группах бычков-аналогов с учетом клинико-физиологического состояния, породы, возраста, живой массы по 8 животных в группе. Исследования проводили на фоне сбалансированного кормления по основным показателям в соответствии с нормами и рационами РАСХН [1].

Бычков всех групп с 1- до 15-дневного возраста содержали в индивидуальных клетках профилактория, затем до 540-дневного возраста (продолжительность опытов) – в типовых помещениях по традиционной технологии. Животных 1 группы (контроль) содержали на основном рационе (ОР). Бычкам второй группы на фоне ОР ежедневно скармливали «Комбиолакс» в дозе 1 мл/кг массы тела (м. т.) в течение каждых 20 дней с 10-дневными интервалами до 360-дневного возраста. Животным третьей группы в 1, 25 и 50 день жизни внутримышечно вводили органический антиоксидант «Селенопиран» в дозе по 0,1 мг/кг м. т. и дополнительно скармливали «Комбиолакс» согласно указанной выше схеме. У 5 животных из каждой группы на 1-, 30-, 60-, 90-, 120-, 180-, 360- и 540-й день жизни изучали клинико-физиологическое состояние и рост тела, а также гематологическую, биохимическую и иммунологическую картину.

3. Результаты исследований и их обсуждение. Установлено, что в типовых помещениях, где содержали подопытных животных, в течение исследований параметры микроклимата в целом соответствовали зоогигиеническим нормативам.

Температура тела, число ударов пульса, дыхательных движений и сокращений рубца у животных изучаемых групп находились в пределах колебаний физиологической нормы (P>0,05). Показатели массы тела бычков опытных в течение наблюдений значительно выше, чем у интактных сверстников. Так, 180-, 360- и 54-дневные опытные бычки превосходили по этому ростовому показателю контрольных сверстников на 14,9–55,5 кг (P<0,05-0,001). В то же время различие в массе тела между животными опытных групп было недостоверным, хотя имела место тенденция более интенсивного роста у животных третьей группы. Аналогичная закономерность выявлена в динамике среднесуточного прироста массы тела и коэффициента роста у бычков сопоставляемых групп (рис. 1).

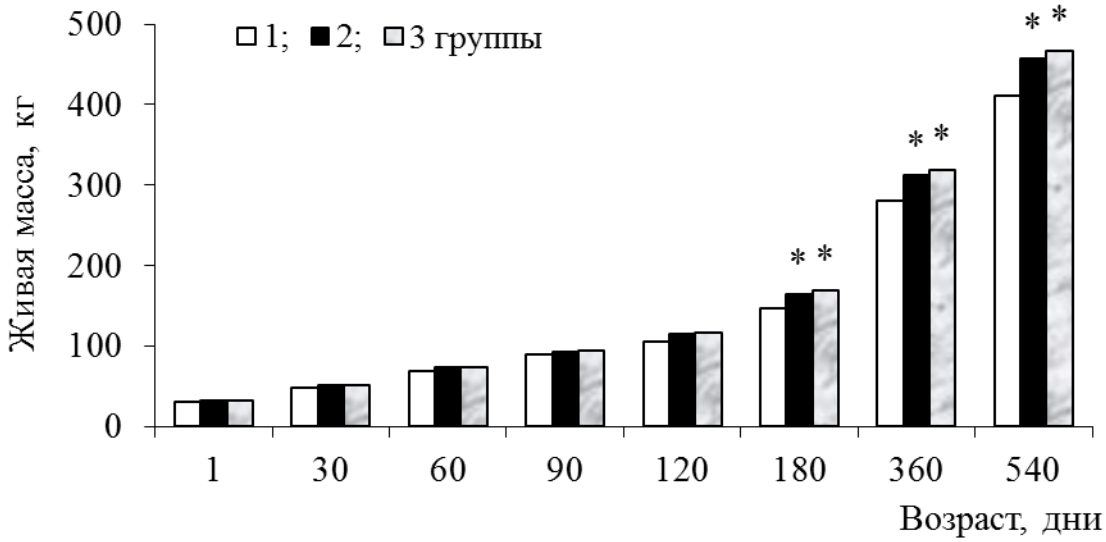


Рис. 1. Динамика массы тела бычков

Примечание: * – здесь и далее p<0,05

Установлено, что диапазон колебаний количества эритроцитов в крови бычков контрольной группы был относительно узким (5,82±0,227 – 6,55±0,126 млн/мкл). Между тем амплитуда колебаний данного параметра у бычков во второй и третьей группах была значительно шире (5,69±0,254 – 7,35±0,036 и 6,03±0,439 – 7,75±0,021 млн/мкл соответственно). Выявлено, что у животных опытных групп число эритроцитов значительно превосходило контрольные значения, начиная с 60-дневного возраста. Так, в их 60-, 120-, 180-, 360-, 540-дневном возрасте превышение составило 6,6–20,4 % (P<0,05-0,005).

Динамика уровня гемоглобина в крови в целом соответствовала характеру изменений количества эритроцитов. При этом у 60-, 90-, 120-, 180-, 360-, 540-дневных животных третьей группы он был выше на 13,3–26,7 % (P<0,05–0,001) по сравнению с таковым у контрольных сверстников. Промежуточное положение по этим гематологическим параметрам между бычками первой и третьей групп занимали их сверстники второй группы.

Количество лейкоцитов у животных контрольной и второй групп уменьшалось по мере их взросления соответственно от 7,7±0,43 до 7,3±0,10 и от 8,1±0,39 до 8,0±0,14 тыс/мкл. У животных третьей группы была обнаружена тенденция небольшого увеличения данного показателя к концу исследований (7,9±1,07 против 8,4±0,11 тыс/мкл). Уровень иммуноглобулинов в сыворотке крови у бычков всех групп увеличивался на всем протяжении исследова-

ний. Его разброс составил в у подопытных животных 18,6±0,61–25,4±0,25 мг/мл, который в 30-, 60-, 90-, 120-, 180-, 360-, 540-дневном возрасте бычков второй и третьей групп достоверно превышал контрольные показатели.

Активность аутобляшкообразующих клеток постепенно возрастала у исследуемых животных от 1- до 540-дневного возраста (5,9±0,21–6,3±0,33 против 7,2±0,08–8,7±0,04%). При этом данный показатель был выше у бычков третьей группы, что свидетельствует о более выраженной активации аутоиммунитета организма в условиях сочетанного назначения «Селенопирана» с «Комбиолаксом».

Выявлено, что уровень общего белка в сыворотке крови подопытных бычков в ходе исследований имел тенденцию к нарастанию по сравнению с исходными показателями от 59,4±0,07–60,3±0,37 до 61,0±0,38–63,9±0,10 г/л. Установлено, что содержание общего белка у быков второй и третьей групп, начиная соответственно с их 60- и 30-дневного возраста и до конца исследований, было заметно выше контрольных показателей Так, в конце периодов выращивания, доращивания и откорма (180, 360 и 540-дней) превышение составило соответственно на 2,6-5,4 (P>0,05) и 4,8-8,3% (P<0,01-0,001).

Характер изменений концентрации альбуминовой белковой фракции в основном соответствовал динамике содержания общего белка. Динамика уровня альфа- и бета-глобулиновых фракций общего белка у бычков сравниваемых групп в течение опыта носила волнообразный характер (P>0,05). Концентрация гамма-глобулиновой фракции белка у животных второй и третьей групп во все сроки исследований была выше, чем в интактной группе. Так, в их 30-, 60-, 120-, 180-, 360-, 540-дневном возрасте превышение составило 4,1-20,5 % (P<0,05-0,005; рис. 2).

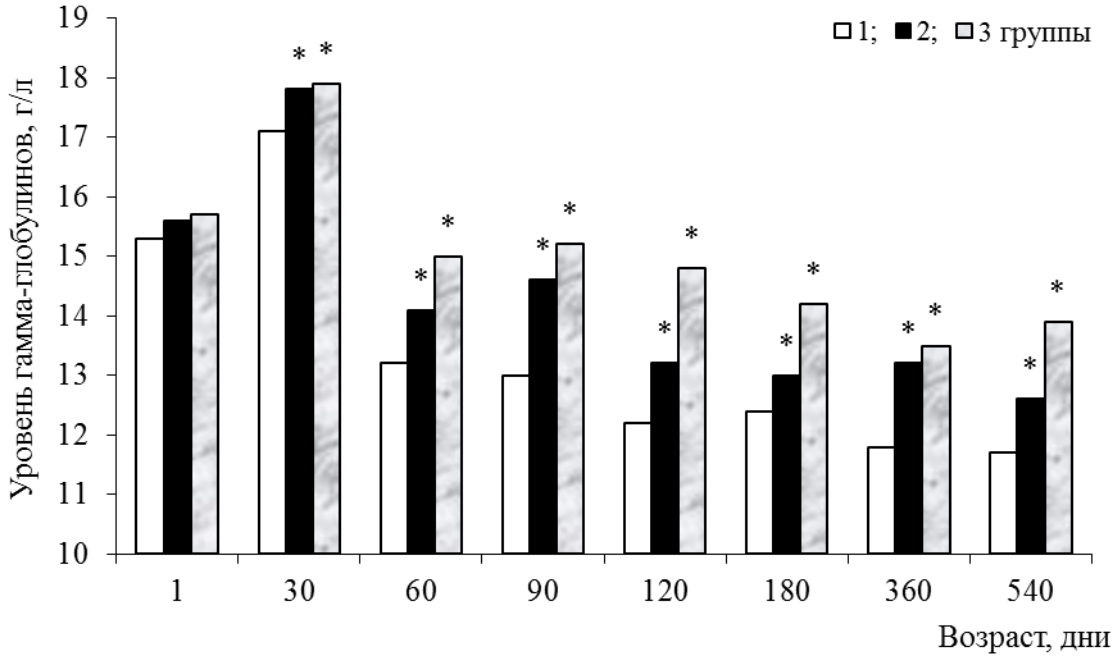


Рис. 2. Динамика уровня гамма-глобулинов бычков:

Установлено, что уровень кислотной ёмкости в сыворотке крови подопытных животных равномерно нарастал к концу исследований. Если в начале опыта у бычков первой группы он составил 382±3,7 мг/%, второй – 377±4,9, третьей – 372±5,8 мг/%, то к его концу соответственно – 442±9,6; 486 ±9,6; 492±9,6 мг/%.

На протяжении наблюдений этот биохимический показатель был выше у бычков опытных групп. При этом разница в нем между животными интактной и второй, а также интакт-

ной и третьей групп становилась достоверной, начиная соответственно с их 120- и 30-дневного возраста (P<0,05-0,005). В то же время различие в уровне кислотной ёмкости у бычков опытных групп было незначительным.

У животных сравниваемых групп активность перекисного окисления липидов в возрастном аспекте колебалась в диапазоне от 5,21±0,248 до 7,45±0,074 у.е. Причем, начиная с 30 дня их жизни и до конца наблюдений, она была выше у контрольных животных. Иная закономерность выявлена в характере изменений активности антиоксидантной системы, которая у животных опытных групп в течение исследований, наоборот, была ниже, чем в контроле. Минимальная активность пероксидазы в крови подопытных бычков выявлена в 1 день их жизни (48,2±0,58 - 50,2±0,88 у.е.), а максимальная – в 540-дневном возрасте (37,2±0,08 – 43,5±0,42 у.е.). При этом у животных второй и третьей групп, начиная с их соответственно 60- и 30-дневного возраста и до конца наблюдений, она была достоверно ниже контрольных параметров (P<0,05–0,001).

Выявлено, что концентрация щелочной фосфатазы в сыворотке крови животных сопоставляемых групп в течение первой серии опытов носила волнообразный характер. Диапазон колебаний данного фермента у быков первой, второй и третьей групп находился в пределах от 2,2±0,08 до 3,0±0,06, от 1,9±0,11 до 2,6±0,05 и от 1,8±0,06 до 2,5±0,10 ммоль/(ч·л) соответственно.

Резюме. Экспериментально доказана физиологическая целесообразность назначения бычкам отечественных иммунокорректоров «Селенопиран» и «Комбиолакс», которые обладают достаточно широким спектром положительного биогенного воздействия.

Таким образом, содержание бычков с назначением на фоне основного рациона биопрепаратов «Комбиолакс» и «Селенопиран» сопровождалось коррекцией показателей роста, развития, гематологической, биохимической и иммунологической картины. Причем комбинированное назначение животным изучаемых иммунокорректоров оказывало более рельефное влияние на показатели роста и естественной резистентности, чем назначение только «Комбиолакса».

Список литературы

[4] Калашников, А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие / А. П. Калашников, В. И. Фисинин, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменов. – М., 2003. – 456 с.

[5] Лысов, В. Ф. Тип адаптивных реакций у телят в ранний постнатальный период / В. Ф. Лысов, В. И. Максимов, Н. Р. Игламов // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – СПб., 2004. – Т. 90. – № 8. – С. 502.

[6] Любина, Е. Н. Влияние препаратов β-каротина на антиоксидантную систему и иммунобиологический статус организма свиней : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.00.13, 03.00.04 / Н. Е. Любина. – Боровск, 2006. – 23 с.

[7] Панина, Т. В. Применение пробиотика-гепатопротектора «биопротектин» при токсических поражениях печени у собак / Т. В. Панина и соавт. // Науч.-практич. журнал «Гастроэнтерология». – СПб. – 2009. – № 4. – С. 31.

[8] O' Doherty, J. V. The effects of lactose inclusion and seaweed extract derived from Laminaria spp. on performance, digestibility of diet components and microbial populations in newly weaned pigs / J. V. O' Doherty, S. Dillon, S. Figat, J. J. Callan, T. Sweeney // Animal feed science and technology. – 2010. – Vol. 157. – N. 3. – P. 173 – 180.

РЕАКЦИЯ CD4-, CD8- ПОЗИТИВНЫХ КЛЕТОК СЕЛЕЗЕНКИ НА ВВЕДЕНИЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРОВ Т-АКТИВИНА И ГАЛАВИТА

С. А. Ястребова, В. Е. Сергеева, С. В. Илларионова, Н. А. Зайцева

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

В ходе исследований нами было выявлено 5 типов CD4+ и CD8+ клеток селезенки, из которых как при воздействии галавитом, так и Т-активином увеличилось число CD4+ и CD8+ клеток 5 типа, характеризующихся мелкими размерами и бледными гранулами в цитоплазме, преобладающие в красной пульпе селезенки.

1. Введение. В процессе дифференцировки клеток системы иммунитета на их мембранах появляются макромолекулы-маркеры, соответствующие определенной стадии развития. Они получили название CD-антигенов (от английского-clusters of differention-кластер дифференцировки). В настоящее время их известно более 200 [1].

CD4-55 k DA трансмембранный гликопротеин, экспрессируемый Т-хелперами, определяется на 55-65% зрелых Т-клеток периферической крови и на тимоцитах. CD4 также экспрессируют моноциты-макрофаги, клетки Лангерганса и другие дентритные клетки. Цитофлуориметрическое определение CD4-позитивных клеток с помощью моноклональных антител широко применяется в клинической иммунологии для определения содержания Т-хелперов в периферической крови, что имеет наибольшее значение при иммунодифицитных состояниях, в особенности при ВИЧ-инфекции, а также при лимфопролиферативных заболеваниях [2]. Дифференцировочная молекула CD8 представляет собой гликопротеин, обнаруживаемый на поверхности тимоцитов и Т-лимфоцитов и участвующий в распознавании антигенных пептидов в контексте с молекулами главного комплекса гистосовместимости. CD8+ Т-лимфоциты выполняют функции цитотоксических Т-лимфоцитов (ЦТЛ), или «перфорин-гранзимовых киллеров». При аутоиммунных тиреоидитах, в частности при диффузном токсическом зобе (ДТЗ), в реакциях клеточного иммунитета отмечается снижение субпопуляции CD8-лимфоцитов и снижение функциональной активности цитотоксических лимфоцитов. При сахарном диабете также отмечается уменьшение функциональной активности и количества CD8-лимфоцитов. Снижение фракции CD8-лимфоцитов наблюдается также и у больных с первичной хронической недостаточностью коры надпочечников (болезнь Аддисона) [3]. Реакция CD4+, CD8+ позитивных клеток селезенки на введение иммуномодуляторов мало изучена.

Целью нашего исследования явилось изучение популяций CD4+, CD8+ клеток селезенки в норме и под влиянием иммуномодуляторов Т-активина и галавита.

2. Материал и методы исследования. Объектом исследования служила селезенка 80 мышей-самцов, массой 22-24 г. Животные были разделены на 4 группы: 1 – интактные животные (n = 20); 2 – контрольные животные, которым вводился физраствор по 0,2 мг на животное (n = 20); 3 – экспериментальные с введением Т-активина по 0,2 мг на животное (n = 20); 4 – с введением галавита по 0,2 мг на животное (n = 20).

3. Результаты исследования и их обсуждение. В ходе цитоморфологических исследований нами было выявлено 5 различных популяций CD4+ и CD8+ клеток селезенки:

1 – крупные яркие клетки без видимых гранул в цитоплазме;
2 – крупные бледные клетки с гранулами и без отростков;
3 – крупные бледные отростчатые клетки с гранулами;
4 – мелкие яркие клетки без видимых гранул;
5 – мелкие бледные клетки с гранулами.

В селезенке интактных животных общее количество CD4+ клеток преобладает в красной пульпе и совсем не выявляется в периартериальной и реактивной зонах белой пульпы.

В тканях селезенки чаще выявляются CD4+ клетки 5-го типа (36,6). При введении галавита в красной пульпе селезенки, по сравнению с белой пульпой, общее количество CD4+ клеток оказалось больше чем в два раза: в белой пульпе среднее их количество – 81,8; в красной пульпе – 210. Максимальное количество CD4 - позитивных клеток выявлено на 1-е сутки введения галавита (101) с преобладанием 5-го типа клеток, а минимальное количество – на 7-е сутки (38,4), где также преобладают мелкие бледные клетки с гранулами (Рис. 1). В среднем в тканях селезенки при введении галавита чаще выявляются CD4+ клетки 5- го типа (232), на втором месте 4-й тип (41,2), на третьем месте 1-й тип (34,6), на четвертом – 3-й тип (20,2) и наименьшее количество приходится на клетки 2- го типа (8,6) (Табл. 1).

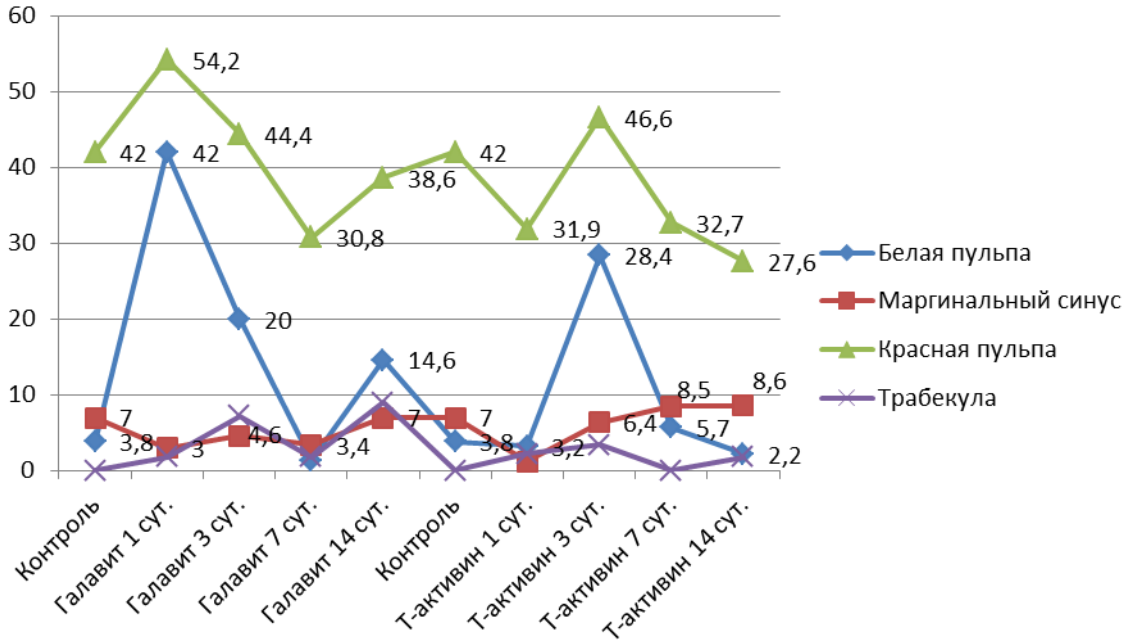


Рис. 1. Динамика CD4 - позитивных клеток селезенки через 1, 3, 7, 14-е сутки введения галавита и Т-активина

При введении Т-активина CD4+ клетки также преобладают в красной пульпе (180,8), в то время как в белой пульпе их всего 43,3. Максимальное количество CD4+ клеток выявлено на 3-е сутки введения Т-активина (84,8), а минимальное количество на 1-е сутки эксперимента (38,5) (Рис. 1). Среди пяти выделенных нами типов CD4+ клеток в тканях селезенки преобладают клетки 5-го типа (180), а на последнем месте выявляются крупные, бледные, безотростчатые клетки без гранул 2- го типа (4,7) (Табл. 1).

При введении галавита у контрольных животных CD8 - позитивные клетки также преобладают в красной пульпе и совсем не выявляются в периартериальной зоне и трабекулах селезенки. При этом чаще выявляются клетки 5-го типа. При введении галавита в красной пульпе селезенки по сравнению с белой пульпой общее количество CD8+ клеток больше в 7 раз: в белой пульпе среднее их количество – 35,6; в красной пульпе – 261,8. Максимальное количество CD8 - позитивных клеток выявлено на 7-е сутки введения галавита (96,6) с преобладанием клеток 5-го типа, а минимальное количество на 14-е сутки, где также преобладают клетки 5-го типа (Рис. 2).

Итак, в целом в тканях селезенки чаще выявляются клетки 5-го типа (210,8), на втором месте – 4-го типа (65), на третьем – популяция 1-го типа (49,6), на четвертом – 3-го типа (24,6) и в небольшом количестве 2-го типа (0,4) (см. табл. 2). При введении Т-активина CD8-позитивные клетки преобладают в красной пульпе склезенки (122,45), в то время как в белой пульпе их незначительно (29,9). Максимальное количество названных клеток выявлено на 1-е сутки введения Т-активина (47,5), а минимальное количество на 7 сутки эксперимента

(14,6) (см. рис. 2). Среди пяти выделенных нами морфотипов CD8+ клеток в тканях селезенки преобладают клетки 5-го типа, что составляет – 85 и в наименьшем количестве определена популяция 2-го типа – 1,2 (Табл. 2).

Таблица 1

Изменение количества CD4-позитивных клеток селезенки при введении физиологического раствора, Т-активина и галавита через 1, 3, 7, 14-е сутки(%)

Сроки воздействия	1 тип	2 тип	3 тип	4 тип	5 тип
Контроль	4,6	2,4	0	8,2	36,6
Галавит 1 сут.	14,2	1,2	12,2	11,2	62,2
Галавит 3 сут.	9,2	2	3,6	8,6	52,8
Галавит 7 сут.	2,8	0,6	1	5,6	28,4
Галавит 14 сут.	3,8	2,4	3,4	7,6	52
Контроль	4,6	2,4	0	8,2	36,6
Т-активин 1 сут.	14,1	0,1	5,4	2,4	16,5
Т-активин 3 сут.	14,6	1,2	4,8	5,8	58,4
Т-активин 7 сут.	0,6	0	3,3	9,1	33,9
Т-активин 14 сут.	0	1	0,4	4,2	34,6

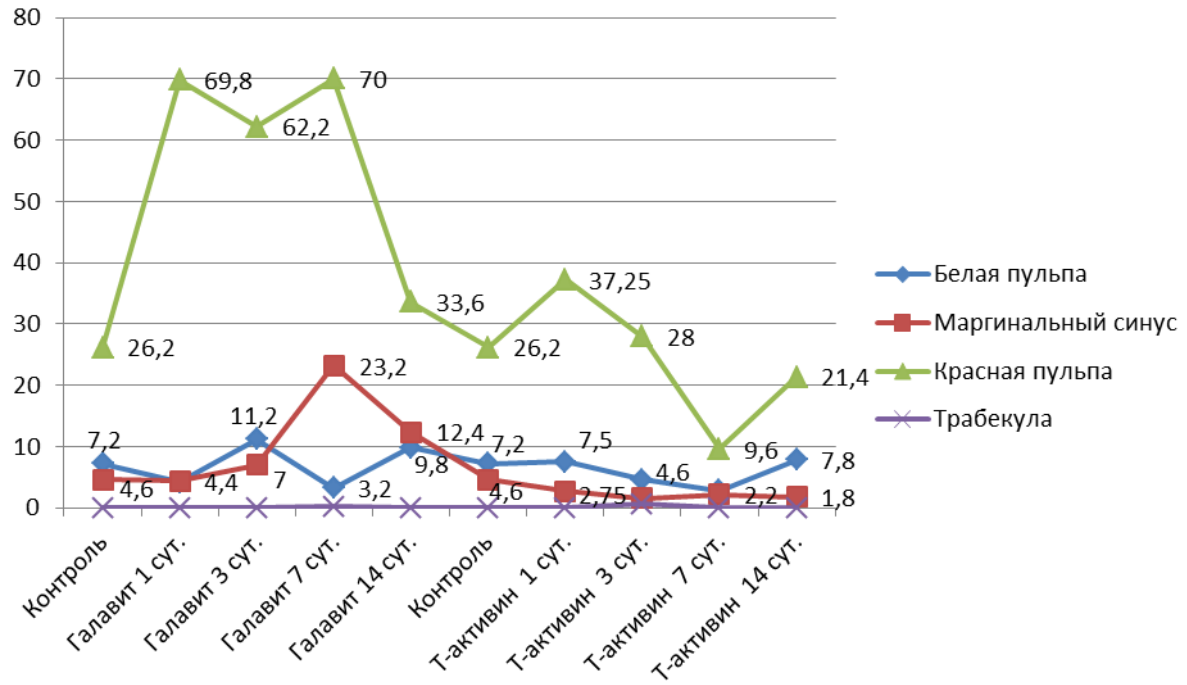


Рис. 2. Динамика CD8-позитивных клеток селезенки через 1, 3, 7, 14-е сутки введения галавита и Т-активина

Анализ результатов исследования показал, что введение иммуномодуляторов приводит к изменению общего количества CD4+ и CD8+ клеток, соотношений их количества в красной и белой пульпе селезенки, а также к перераспределению соотношений типов CD4+ и CD8+ клеток в тканях исследуемого органа.

Отличие различных популяций Т-лимфоцитов, даже внутри одной и той же группы (Т-хелперов, Т-киллеров), возможно, обусловлено количеством и состоянием, содержащихся в них белков иммуноглобулинов. Предположительно некоторые из них находятся в несозревшем состоянии, т.е. не до конца сформированном состоянии, а другие, созревшими для функционирования, а третьи – уже растратившие себя в ходе реакций иммунитета. Кроме того, размеры выявляемых нами клеток зависят от принадлежности их к разным популяциям. Т-хелперы более крупные, Т-киллеры более мелкие. Мы предполагаем, что клетки 1-го типа

относятся к Т-хелперам и содержат почти зрелые белки и проявляют более интенсивную окраску и выглядят яркими и не гранулированными.

В клетках 2-го типа мы также идентифицируем как Т-хелперы. В них белков иммуноглобулинов, возможно, становятся меньше из-за их частичного растрачивания на иммунные реакции. Поэтому они становятся более бледными, а их внутренняя структура зернистая.

Клетки 3-го типа – это Т-хелперы, в которых белки иммуноглобулины израсходованы на иммунные реакции, что привело к нарушению их целостности, в связи, с чем у них появились отростки.

Таблица 2

Изменение количества CD8-позитивных клеток селезенки при введении физиологического раствора, Т-активина и галавита через 1, 3, 7, 14-е сутки (%)

Сроки воздействия	1 тип	2 тип	3 тип	4 тип	5 тип
Контроль	8,4	0	0,6	9,2	19,8
Т-активин 1 сут.	8	0	4,25	15,25	20
Т-активин 3 сут.	2,6	0,4	6	4,6	21,2
Т-активин 7сут.	0,2	0,4	0,6	1,8	11,6
Т-активин 14 сут.	1,2	0,4	2,6	14,4	12,4
Контроль	8,4	0	0,6	9,2	19,8
Галавит 1 сут.	15,4	0,4	10,8	14,2	38,8
Галавит 3 сут.	15,4	0	1,4	21,8	41,8
Галавит 7 сут.	6,6	0	0,8	15,4	73,8
Галавит 14 сут.	3,8	0	11	4,4	36,6

Клетки 4-го типа, по нашим предположениям, относятся к Т-киллерам и в них также как и в Т-хелперах, содержится созревший начинающий функционировать иммуноглобулины.

Пятому типу клеток соответствуют Т-киллеры, в которых белки-иммуноглобулины частично израсходованы при взаимодействии с антигенами, поэтому они выглядят бледными. Введение иммуномодуляторов приводит к изменению, как количества этих клеток, так и их распределению в тканях селезенки.

Выводы:

1. Как галавит, так и Т-активин приводят к увеличению числа CD4- и CD8-позитивных клеток 5-го типа мелких по размерам с бледными гранулами в цитоплазме.
2. При введении вышеназванных иммуномодуляторов CD4- и CD8-позитивные клетки преобладают в красной пульпе селезенки с максимальным выявлением на 1-е сутки эксперимента.

Список литературы

[1] Ю.И. Будчанов. *Клеточный иммунитет. Типы клеточной цитотоксичности. Рецепторы и маркеры, субпопуляции лимфоцитов. Учебно методическое пособие по иммунологии,* Тверь, 2008. – С. 8.

[2] А.Н. Чередеев, Н.А. Горлина, И.Г. Козлов. *CD-маркеры в практике клинико-диагностических лабораторий // Клин. лабор. диагн.* – 1999. – **№ 6**. – С. 25-32.

[3] В.Ю. Никитин. *Основные принципы и диагностические возможности проточной цитометрии в клинической иммунологии и эндокринологии.* http://clinlab.ru/txt/doc2/RUd9Oq.

V. «СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ»

ВОЗМОЖНОСТИ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРОВИ

А. А. Мельников, М. В. Малахов, Д. В. Николаев*

Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского
** - НТЦ «Медасс», Москва*
e-mail: meln1974@yandex.ru

Annotation. We attempted to apply bioimpedance spectrometry to study the whole blood and red cell suspensions. It was found that the method is highly reproducible and sensitive to changes in the concentration of red blood cells and red cell sedimentation. It was suggested that bioimpedance spectrometry may be used to the analysis of these blood parameters.

1. Введение. Исследование различных физико-химических свойств крови имеет большое значение в биологии и особенно в медицине. Так, концентрация гемоглобина и показатель гематокрита, характеризующие кислородную емкость крови, а также скорость оседания эритроцитов, характеризующая суспензионную стабильность и способность к агрегатообразованию эритроцитов, входят в обязательный набор основных гематологических анализов в клинической практике. Многие экспериментальные гематологические лаборатории нуждаются в надежном, быстром и точном определении гематокрита. В связи с этим разработка удобных в исполнении и быстрых методов определения этих и других гематологических показателей является актуальной задачей.

В данной работе мы попытались применить биоимпедансную спектрометрию (БИС) для изучения крови. Основной целью работы было проанализировать положение годографа образцов крови при следующих воздействиях: 1) изменении гематокрита крови с помощью разведения аутологичной плазмой и удаления части плазмы; 2) в процессе оседания эритроцитов крови с разным гематокритом.

2. Методы исследования. Методические особенности БИС крови. БИС исследования крови проводили с использованием «Анализатора биоимпедансного спектра» «Медасс», который позволяет определять активное сопротивление R (Ом), реактивное сопротивление (Xc, Ом) и величину фазового сдвига для широкого диапазона частот: от 5 кГц до 2000 кГц. Данный частотный диапазон хорошо подходит для БИС цельной и разбавленной крови в широком диапазоне ее гематокритного показателя. Измерение крови проводили в специально изготовленной камере для БИС крови (Рис. 1). В камере реализованы следующие особенности. Линии тока распространяются прямолинейно и ламинарно по всему измеряемому образцу крови, поскольку токовые электроды расположены в торцах камеры, а потенциальные электроды в виде колец – в стенке камеры. В анализ попадает практически весь объем крови.

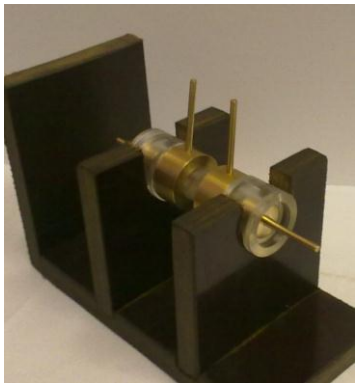


Рис. 1. Измерительная камера для проведения биоимпедансного анализа крови

Для анализа частотной зависимостей Xc от R строились идеальные аппроксимированные годографы полукружной формы, в которых выделялись 4 точки: 1-я точка с аппроксимированными значениями Xc и R, соответствующая значениям на частоте стремящейся к

бесконечности; 2-я – центр годографа, 3-я – точка с аппроксимированными значениями Xc и R, соответствующая значениям на частоте стремящейся к нулю; 4-я – точка с аппроксимированными значениями Xc и R, соответствующая значениям на характеристической частоте, то есть с максимальным значением Xc; угол φ – угол между радиусами, одного соединяющего центр с точкой пересечения с осью R и второго, соединяющего центр с точкой 4 (Рис. 2).

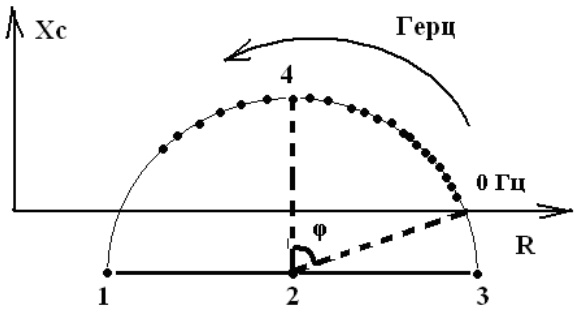


Рис. 2. Аппроксимированный годограф Коула

3. Результаты исследований и их обсуждение. *Годографы крови при разных значениях гематокрита.* Можно отметить следующие особенности изменений годографов в зависимости от концентрации клеток красных клеток крови (гематокрита, Ht). С увеличением Ht годограф смещается вправо – в область более высокого активного сопротивления, а также вверх – в область высокого реактивного (емкостного) сопротивления (Рис. 3А).

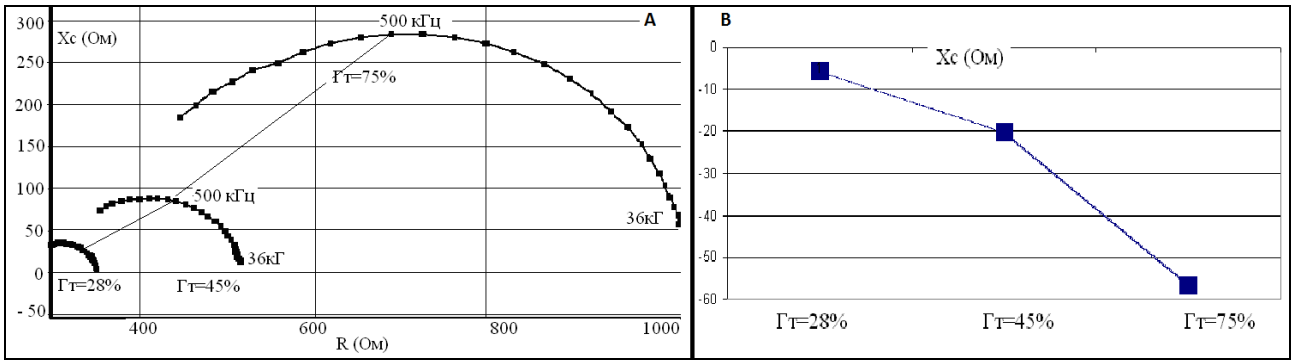


Рис. 3. А) Годографы при разных значениях гематокрита. В) Величина реактивного сопротивления (Xc, Ом) центров годографов с разным гематокритом. С ростом гематокрита от 28% до 75% центр годографа смещается вниз.

Данный факт, тесной корреляции активного и реактивного сопротивлений с гематокритом крови хорошо известен в литературе [1]. Кроме смещения годографа вверх-вправо, изменилась «компактность» годографа: с ростом Ht характеристическая частота уменьшилась, сам годограф стал менее плотным. Это видно по смещению точки измерения на частоте 500 кГц вверх – ближе к характеристической частоте. Положение центра годографа также изменилось (Рис. 3В). Хотя величина реактивного сопротивления в точке соответствующей Fchar с ростом гематокрита увеличилось, однако расположение центра по оси Xc снизилось. То есть с ростом Ht центр годографа снижается и смещается вправо, одновременно радиус годографа увеличивается, что ведет к увеличению длины его окружности в данном частотном диапазоне и сдвигу самого годографа вверх. Параметр Alpha, характеризующий угол φ не изменился, поскольку степень увеличения радиуса и степень снижения центра годографа крови при увеличении Ht были примерно одинаковы. Таким образом, используемая нами методика БИС крови в частотном диапазоне 5кГц-2000 кГц и специальной измерительной камере позволяет, во-первых, достаточно точно построить аппроксимированный годограф крови, в котором с запасом перекрывается Fchar, что дает возможность точно рассчитать все параметры модели Коул. Во-вторых, показана тесная связь основных параметров годографа крови с величиной гематокрита. Установлено, что активное и реактивное сопротивление растет, а центр годографа снижается вместе с увеличением гематокритом, напротив, параметр Alpha практически не меняется. Измерение гематокрита крови с помощью метода БИС имеет ряд преимуществ по сравнению с общепринятым центрифугированием: 1) процедура изме-

рения очень быстрая и занимает не более 3-5 минут вместе с подготовкой к последующему измерению (обработка камеры и образца крови); 2) метод позволяет оценить так называемый «истинный» гематокрит, то есть объем образца, занимаемый недеформированными эритроцитами во взвешенном состоянии, без каких либо механических воздействий на красные клетки крови; 3) прибор для биоимпедансных исследований вместе с камерой для суспензий очень компактный и легкий, может использоваться, в том числе и в полевых условиях.

Изменение годографа при оседании эритроцитов. В процессе оседания эритроцитов годографы сдвигаются вправо (Рис. 4).

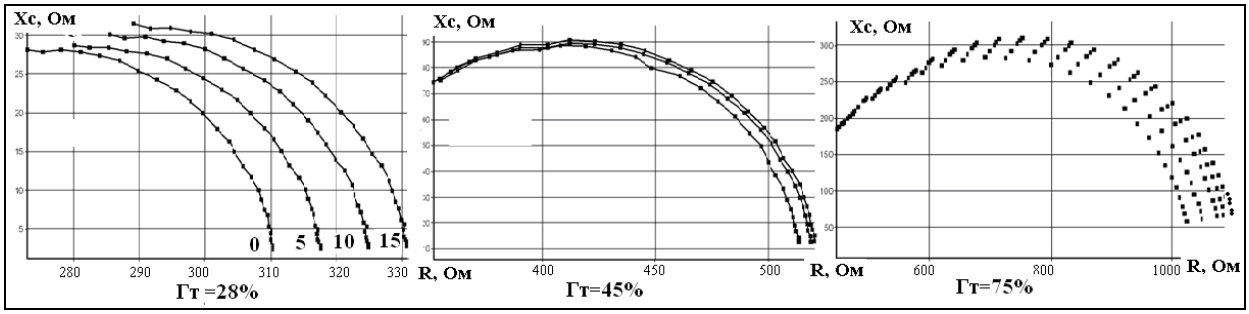


Рис. 4. Годографы крови, полученные при оседании эритроцитов в течение 15 мин.

Смысл параметра Alpha или «угла φ» аппроксимированного годографа модели Коула до сих пор остается мало понятен. Есть данные, что он отражает и связан со структурой биоткани, например, с ее однородностью, или с различиями в размерах и форме клеток в тканях [2]. Мы полагаем, что снижение параметра Alpha в процессе оседания крови обусловлено изменением однородности крови в процессе оседания эритроцитов. Это ведет к изменению величины фазового сдвига, поскольку агрегаты и отдельные эритроциты имеют разные электропроводящие и емкостные свойства [3], что и ведет к снижению параметра Alpha. Полученные результаты при оценки процесса оседания эритроцитов методом БИС позволяет сделать следующие выводы. 1) Метод БИС крови достаточно чувствителен к процессу оседания эритроцитов. Это позволяет использовать данный подход к точному определению (СОЭ). Даная методика позволяет значительно ускорить процедуру оценки СОЭ, методика БИС позволяет рассчитывать СОЭ за секунды или минуты. 2) Динамика параметра Alpha показывает, что метод БИС чувствителен к однородности крови: снижение параметра Alpha при отсутствии изменений в концентрации эритроцитов указывает на расслоение крови и, вероятно, агрегатообразование из красных клеток крови. Анализ положения центра годографов показывает, что центры годографов смещаются вниз (Рис. 5) и вправо. При этом радиус годографа увеличивается (Рис. 6), как за счет снижения центра, так и за счет увеличения вершины годографа.

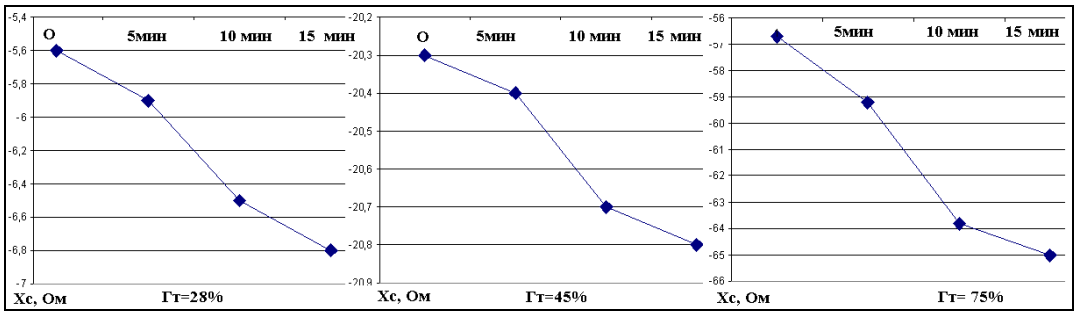


Рис. 5. Реактивное сопротивление (Xc, Ом) центра годографа при оседании эритроцитов крови с разным гематокритом (Гт=28%, Гт=45% и Гт=75%). Снижение Xc указывает на смещение центра годографа вниз

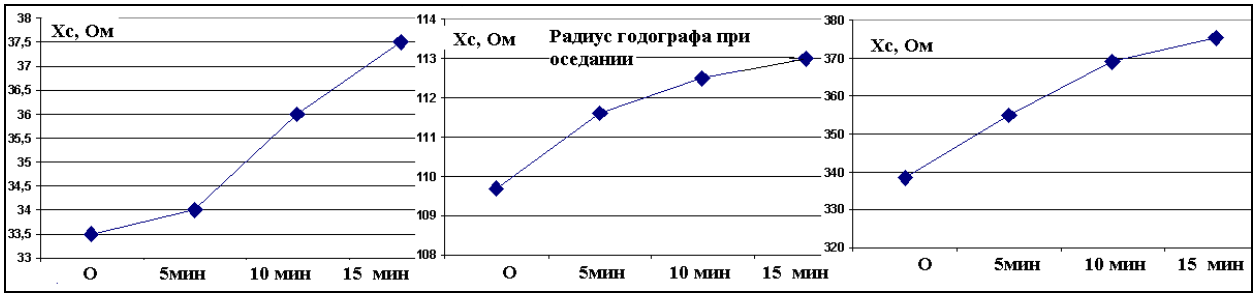


Рис. 6. Радиус годографов крови с разным гематокритом в процессе оседания эритроцитов за 15 мин.

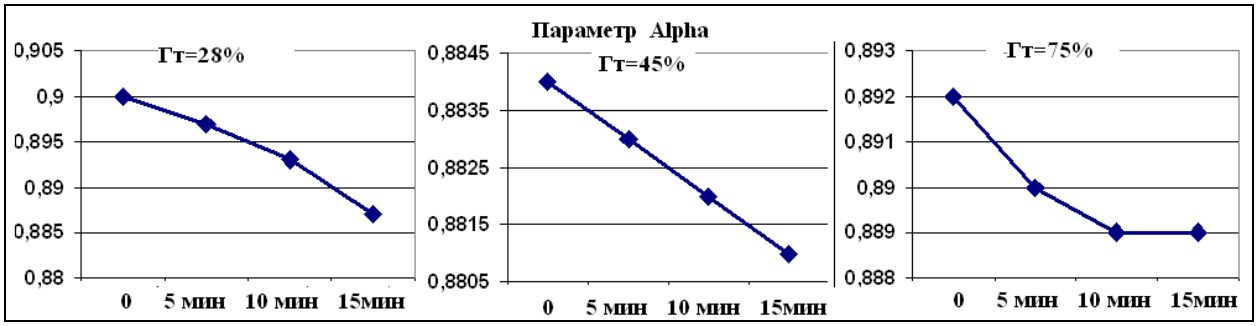


Рис. 7. Параметр Alpha в процессе оседания эритроцитов за 15 мин крови с разным гематокритом. В процессе оседания эритроцитов параметр Alpha снижался во всех образцах крови.

Хотя происходило одновременное снижение центра годографа и увеличение радиуса годографа, однако степень увеличения радиуса была меньше, чем степень снижения годографа, как следствие параметр Alpha снижался (Рис. 7), то есть «угол φ» становился более острым. Следовательно, разработка специальных методических подходов, в частности, специальной камеры может привести к созданию анализатора агрегации эритроцитов – важного показателя крови, необходимого для клиницистов и физиологов [3]. Все это наталкивает на дополнительные исследования по развитию метода БИС крови.

Список литературы

[1] T. X. Zhao, *Physiol. Meas*, **14** (1993) 299.
[2] S. Grimnes, O. G. Martinsen, *Bioimpedance and bioelectricity basics*, Academic Press, L. (2008).
[3] A. Pribush, D. Meyerstein, N. Meyerstein, *Biorheology*, **41 (**2004) 13.

ЭФФЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО УТОМЛЕНИЯ, ВЫЗВАННОГО АЭРОБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ, НА ОРТОСТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ У СПОРТСМЕНОВ

А. А. Мельников, С. Г. Попов

Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского (Ярославль)
e-mail: meln1974@yandex.ru

Annotation. Orthostatic tolerance (OT) was determined by the response of peripheral hemodynamic indices to the tilt test before and after exercise. Athletes showed increased OT before exercise. After exercise the reaction hemodynamic

indices in athletes did not differ from controls, but the amount of work and loss of fluid with sweat was higher. The results indicate on the increased OC in athletes both before and after exercise.

1. Введение. Механизмы обеспечения ортостатической устойчивости у человека до настоящего времени остаются полностью не раскрытыми. Вертикальное положение тела – ортостаз – предъявляет повышенные требования к регуляции аппарата кровообращения вследствие снижения венозного возврата крови из-за ее оттока в сосуды нижних конечностей. Считается, что регулярные физические нагрузки оптимизируют регуляторные системы, повышая устойчивость организма к резким перепадам кровенаполнения центрального региона тела, связанным с ортостатическим стрессом [1]. Проблема ортостатической устойчивости еще больше обостряется на фоне физического утомления, после длительных физических нагрузок. например, марафона [2]. Таким образом, целью работы было исследовать эффекты физического утомления, вызванного аэробной физической нагрузкой, на ортостатическую устойчивость у спортсменов. Ортостатическую устойчивость оценивали по реакции кровотока в периферических регионах тела человека: голова, живот, руки, ноги в ответ на тилт-тест до и после 40-45 мин аэробной нагрузки.

2. Организация и методы исследования. Исследование выполнено на спортсменах, тренирующихся на развитие выносливости: лыжные гонки, бег на средние дистанции, футбол (n=32) и лицах, не занимающихся спортом (группа «Контроль», n=28).

Показатели периферического кровотока определяли одновременно в 4-х отведениях-регионах: «голове» (от основания шеи до висков), «ногах» (от паха до стопы), «руках» (от запястья до плеча) и «абдоминальном регионе туловища» или «живот» (от мечевидного отростка до паха) с помощью аппаратно-программного комплекса «Анализатор гемодинамики импедансный» (Медасс). Особенности метода: генерированный ток 1000 кГц одновременно распределяется по 125 кГц на 8 каналов: 1-2: левая и правая руки, 3-4: левая и правая ноги; 5 – абдоминальная часть туловища (живот); 6 – голова; 7 – ЭКГ в 1 отведении и 8 – реопневмограмма. Регистрировались импедансные показатели (амплитудные и временные показатели реограммы), по которым рассчитывался реографический показатель систолического объем крови соответствующего региона (СОК). Ортостаз вызывали с помощью тилт-теста на самодельном поворотном орто-столе. Режим обследования был следующий: 5 мин положение лежа для стабилизации показателей к положению лежа, → 6 минута измерение показателей лежа → пассивный переход из положение лежа в положение стоя (3-4 секунды) → 2 мин адаптация к ортостазу → 9-10 минута измерение показателей периферической гемодинамики в положение стоя → пассивный переход в положение лежа.

Реакцию на тилт тест выполняли до и через 10 минут после стандартной по ЧСС аэробной физической нагрузки на велоэргометре. Физическая нагрузка. Испытуемым предлагали выполнить субмаксимальную физическую нагрузку на велоэргометре «Kettler FX1» в течение 30 мин. с нагрузкой, соответствующей значениям ЧСС на уровне 145 уд./мин. и скоростью вращения педалей 70-75 об./мин. Вначале испытуемый выполнял ступенчато-возрастающую нагрузку для достижения уровня ЧСС=145±2 уд./мин. Далее продолжал выполнять упражнение при стандартной нагрузке в течение 30 мин. Общая продолжительность физической нагрузки составляла 40-45 мин.

Полученные числовые данные обработаны методами описательной и вариационной статистики Результаты представлены в виде M ± Ст. Отк. Различия в реакции показателей на ортостаз между группами определяли с помощью однофакторного анализа для повторных измерений.

3. Результаты. Характеристика спортсменов. Спортсмены были разделены на 2 группы по уровню физической работоспособности. В группу с высокой работоспособностью (группа PWChigh) вошли спортсмены (n=14) с величинами мощности нагрузки при ЧСС=145 уд./мин. (W145)≥185 Вт (верхняя квартиль индекса W145), а в группу с низкой ра-

ботоспособностью (группа PWClow) вошли спортсмены (n=18) с величинами W145<185Вт. Спортсмены обоих групп не отличались по антропометрическим данным. Спортсмены группы PWChigh за период работы потеряли больше жидкости (0,6±0,2 кг), чем спортсмены группы PWClow (0,4±0,1 кг) или контроль (0,3±0,1 кг) в результате выполнения более интенсивной нагрузки.

Реакция ЧСС на ортостаз. ЧСС лежа до нагрузки была ниже в обеих группах спортсменов (p<0,05-0,01), а после нагрузки, только в группе PWChigh (p<0,01). В положении стоя ЧСС была также ниже только в группе PWChigh, чем в контроле (p<0,01) или в группе PWClow (p<0,01). В ответ на тилт-тест до нагрузки ЧСС увеличивалась во всех группах испытуемых, но менее выраженно в группе PWChigh (p=0,035). После нагрузки ЧСС в ортостазе стала выше во всех группах по сравнению с до нагрузкой, степень прироста ЧСС в ответ на ортостаз увеличилась во всех группах. Различий в приросте ЧСС между группами после нагрузки не выявлено.

Кровоток в верхних конечностях (руки). Реографический показатель систолического объема крови в «руках» (СОКруки) был выше у спортсменов, чем в контроле как в положении лежа, так и стоя по сравнению с контролем, как до нагрузки, так и через 10 мин после нее (Рис. 1). В ответ на тилт-тест СОКруки снижался в обеих группах, однако по данным ANOVA в обеих группах спортсменов степень снижения СОКруки до нагрузки была выше, чем в контроле. После нагрузки во всех группах СОКруки в положении стоя стал меньше (для всех p<0,01), чем в этом же положении до нагрузки. Реакция СОКруки на тилт-тест после нагрузки у спортсменов не отличалась от реакции этого показателя в контроле. Таким образом, физическая нагрузка привела к большим изменениям реакции СОК руки у спортсменов (ANOVA, p<0,05), а степень снижения СОКруки на ортостаз у спортсменов была более выражена только до нагрузки.

Кровоток в абдоминальном регионе туловища (живот). СОКживот также, как и в руках был повышен у спортсменов (p<0,01) и снижался в наибольшей степени у спортсменов при тилт-тесте до нагрузки (Рис. 2). После нагрузки во всех группах СОКживот в положении стоя стал меньше (для всех p<0,05), чем в этом же положении до нагрузки. Реакция СОКживот на ортостаз после нагрузки у спортсменов стала такой же, как и в контроле.

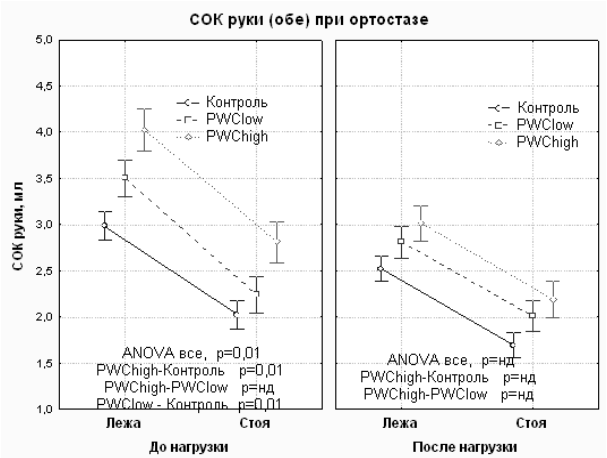


Рис. 1. Реакция СОК в «руках» в ответ на тилт-тест до и после нагрузки в группах спортсменов и контроля (M±95% Д.И.)

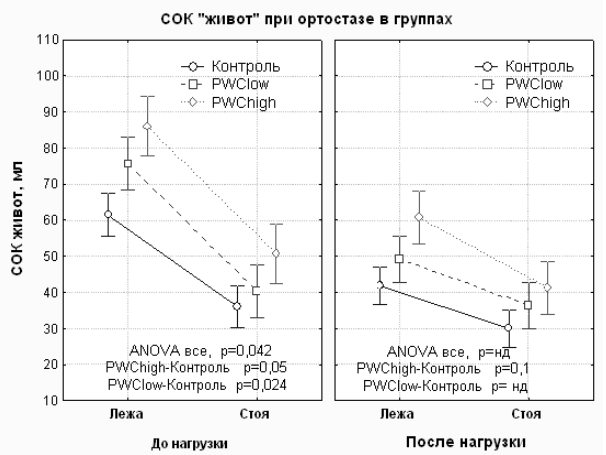


Рис. 2. Реакция СОК в «животе» в ответ на тилт-тест до и после нагрузки в группах спортсменов и контроля (M±95% Д.И.)

Кровоток в нижних конечностях (ноги). СОКноги был выше у спортсменов, чем в контроле как в положении лежа, так и стоя по сравнению с контролем как до нагрузки, так и через 10 мин после нее (Рис. 3). В ответ на тилт-тест СОКноги снижался в обеих группах, но

степень снижения СОКноги у спортсменов была выше, чем в контроле как до, так и после нагрузки. После нагрузки во всех группах СОКноги в положении стоя стал меньше (для всех $p<0,01$), чем в этом же положении до нагрузки. Таким образом, повышенная степень снижения СОК в ногах в ответ на тилт-тест у спортсменов была устойчиво выше как до, так и после нагрузки.

Кровоток в голове. СОК в голове был так же, как и в других периферических регионах выше у спортсменов по сравнению с контролем. В ответ на ортостаз СОКголова снижался во всех группах, но степень снижения у спортсменов группы PWChigh до нагрузки была наименьшая как по сравнению с контролем (Рис. 4, $p=0,05$), так и по сравнению со спортсменами группы PWClow ($p<0,01$). После нагрузки во всех группах СОКголова в положении стоя стал меньше (для всех $p<0,01$), чем в этом же положении до нагрузки. Степень снижения СОКголова в ответ на тилт-тест после нагрузки не отличался между группами.

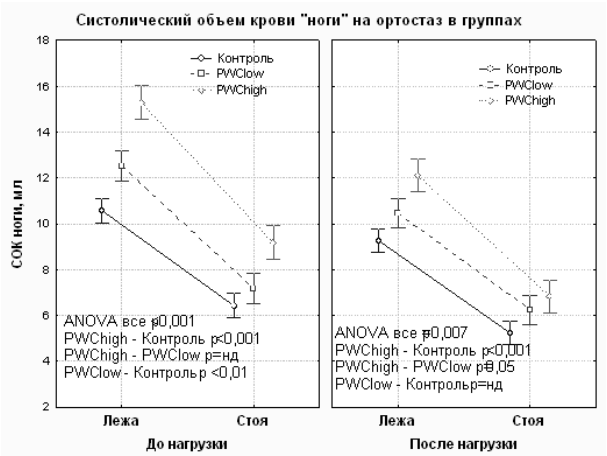


Рис. 3. Реакция СОК в «животе» в ответ на тилт-тест до и после нагрузки в группах спортсменов и контроля (М±95% Д.И.)

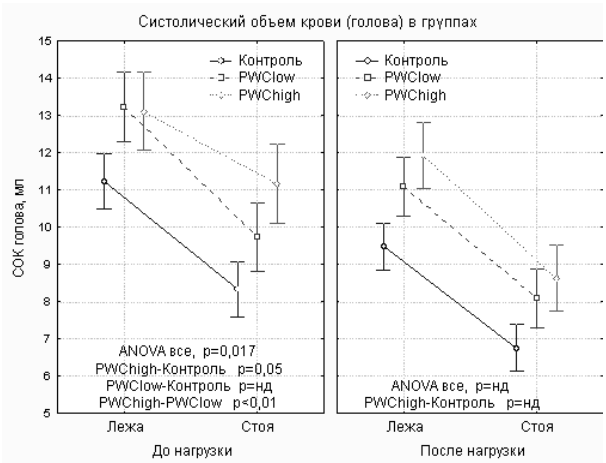


Рис. 4. Реакция СОК в «голове» в ответ на тилт-тест до и после нагрузки в группах спортсменов и контроля (М±95% Д.И.)

4. Заключение. Проведенное исследование показало, что спортсмены с высокой работоспособностью в исходном состоянии отличаются повышенной ортостатической устойчивостью, на это указывали менее выраженное увеличение ЧСС и снижение СОК в сосудах головы в ответ на тилт-тест. На фоне физического утомления после аэробной физической нагрузки ортостатическая устойчивость снижается, на что указывали повышенное увеличение ЧСС в ответ на тилт-тест и сниженные уровни реографических показателей систолического объема крови во всех периферических регионах (голова, руки, живот, ноги) у испытуемых. Степень снижения СОК во всех периферических регионах (кроме региона ноги), а также прирост ЧСС в ответ на тилт-тест после нагрузки были одинаковыми во всех группах. Учитывая, что у спортсменов с высокой работоспособностью произошла большая потеря жидкости за время работы, что нарушает условия кровообращения, мы полагаем, что спортсмены способны поддерживать высокую ортостатической устойчивостью и на фоне физического утомления.

Список литературы

[1] P. Raven, J. Pawleczyk, *Med. Sci. Sports Exer.* **25** (1993) 713.
[2] S. J. E. Lucas, J. D. Cotter, C. Murrell, *J. Appl. Physiology*. 105 (2008) 213.

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ И РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ НУТРИТИВНОГО СТАТУСА, СОСТАВА ТЕЛА И ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ И ВУЗОВ МЕТОДОМ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА

Д. В. Николаев[1], С. Г. Руднев[1], О. А. Старунова[1], И. Т. Корнеева[2], Э. М. Мингазова[3], Е. А. Болтачева[4], Н. В. Жулин[4], Л. Б. Киселева[5], В. Т. Николаев[6], А. А. Мельников[7], А. С. Поляшова[8], Н. А. Красавина[9], Т. П. Смелова[10]

[1]НТЦ МЕДАСС (Москва), [2]НИИ профилактической педиатрии и восстановительного лечения НЦЗД РАМН (Москва), [3]КГМУ (Казань), [4]Арзамасская городская больница (Арзамас), [5]ГБОУ ДПО (ПК) С "Марийский институт образования", [6]МарГУ (Йошкар-Ола), [7]ЯрГПУ (Ярославль), [8]НижГМА (Нижний Новгород), [9]ПГМА (Пермь), [10]детский Центр здоровья (Чебоксары)

E-mail: dvn@medass.ru

Here, we describe possibilities of bioimpedance screening for estimating nutritional status, body composition and motor activity in groups of schoolchildren, students, and young athletes from different regions of Russia (n=22598). Methods for risk groups formation and data analysis are suggested based on sex- and age-related classification of patients' fat mass and absolute or relative body cell mass.

1. Введение. Состояние здоровья школьников и студентов во многом определяется питанием и уровнем физической активности. Нарушения статуса питания ассоциированы с повышенной частотой ожирения, сердечно-сосудистых, эндокринных, онкологических и других заболеваний [1]. Организация адекватного нутритивного обеспечения детей и подростков имеет огромное значение и актуальна для школ, интернатов, ВУЗов и детско-юношеских спортивных школ. Сбалансированное питание должно обеспечивать естественные процессы роста и развития ребенка и компенсировать затраты энергии, питательных веществ и микронутриентов. Сочетание адекватного сбалансированного питания и рационально спланированного режима двигательной активности становится основой сохранения здоровья детей и подростков.

Современная диагностика нутритивного статуса основана на оценке компонентного состава тела [2]. Нормальные значения параметров состава тела, как правило, ассоциированы с адекватным питанием и достаточным уровнем двигательной активности, а отклонения от нормы могут свидетельствовать о наличии рисков заболеваний. Наиболее адекватным скрининговым методом для оценки параметров состава тела является биоимпедансный анализ [3]. Скрининговые исследования с использованием биоимпедансного анализа проводятся в России с 2009 года в Центрах здоровья [4]. Другая задача может быть связана с обследованиями организованных коллективов (например, образовательные и спортивные учреждения), имеющих возможности для коррекции выявляемых нарушений.

Цель работы – оценка нутритивного статуса, состава тела и двигательной активности у школьников, студентов и юных спортсменов по данным исследований, проведенных в ряде городов России.

2. Материал и методы. Данные были получены авторами при обследованиях школьников и студентов Арзамаса и Арзамасского района, Йошкар-Олы, Казани, Москвы, Нижнего Новгорода, Перми, Старого Оскола, Тамбова и Ярославля. Общее количество обследованных составило 22598 человек.

Биоимпедансное обследование выполняют с использованием анализатора состава тела АВС-01 «Медасс» (НТЦ Медасс, Москва) по стандартной методике с наложением электродов на запястье и голеностоп [5]. Оценки состава тела получают на основе измеренных значений импеданса и антропометрических данных (длина и масса тела). Полученные оценки

сопоставляют с поло-возрасто-ростовыми нормами. По результатам измерений программное обеспечение анализатора формирует протоколы обследования. Рассчитанные значения показателей отображаются на горизонтальных шкалах, где показаны диапазоны нормы и отклонений от нормальных значений. Формирование групп риска производится на основе анализа следующих параметров: процента жировой массы (%ЖМТ), активной клеточной массы (АКМ) и процента активной клеточной массы в тощей массе (%АКМ). Шкалы АКМ и %АКМ имеют градации «норма», «ниже нормы», «выше нормы», а %ЖМТ – «норма», «ниже нормы», «избыточный вес» и «ожирение».

Оценки по проценту жировой массы позволяют судить о недостаточной, достаточной или избыточной калорийности питания. Оценки по активной клеточной массе принято интерпретировать как достаточность белковой компоненты питания. Оценки по проценту активной клеточной массы в тощей массе позволяют оценить уровень физической работоспособности и двигательной активности.

На основе полученной информации формируются группы риска, соответствующие выявленным изменениям (отклонениям от нормы) параметров состава тела. По соотношению численностей этих групп можно судить об относительном благополучии обследованного контингента. Мероприятия по коррекции выявленных нарушений могут включать изменение режимов питания и двигательной активности с учетом рекомендаций кардиолога, эндокринолога и диетолога или направление в региональные Центры здоровья.

Данные биоимпедансных измерений статистически обрабатывались программой BIAStatistica [6], включая фильтрацию данных (выявление и удаление данных с некорректно выполненными измерениями), стандартизацию (сопоставление с нормальными значениями признаков на основе алгоритмов, применяемых ВОЗ) и визуализацию данных.

3. Результаты и обсуждение. Результаты биоимпедансных обследований *школьников* представлены в табл. 1. Только в 11,2-50,3% случаев (среднее значение 29,8%) у школьников из различных регионов России выявлены нормальные значения %ЖМТ; ожирение выявлены в 20,6-53,1% случаев (среднее 28,0%), а истощение – в 2,6-8,1% случаев (среднее 3,4%). Дефицит белковой компоненты питания по АКМ наблюдался в 7,7-25,0% случаев (среднее 14,8%). Недостаточная двигательная активность по %АКМ определялась в 7,7-43,8% случаев (среднее 24,9%). На рис. 1-3 представлены результаты сопоставления данных биоимпедансных исследований состава тела учащихся двух школ г. Тамбов (n=298). По величине %ЖМТ совокупные выборки отличались мало, при этом доля девочек с избыточной массой тела оказалась выше (рис. 1). По величине АКМ обследованные выборки практически не отличались (рис. 2), группу риска составляли в основном учащиеся только одной из школ, преимущественно мальчики. По %АКМ имелись резко выраженные различия, связанные с высоким процентом школьников, занимающихся спортом в одной из двух рассматриваемых школ и значительным процентом детей с гиподинамией в другой школе (рис. 3).

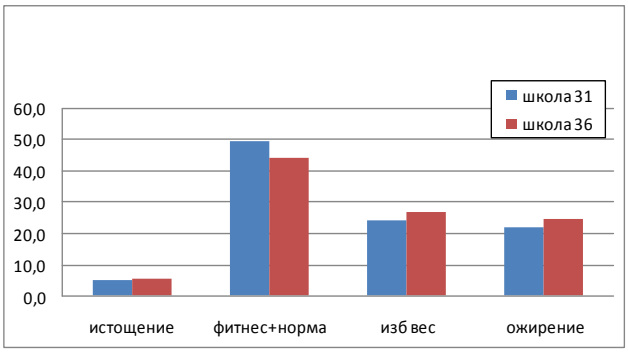
Дети с дефицитом массы тела подлежат наблюдению педиатра для установления причин отклонения, таких как социальное неблагополучие или гипокинезия, приводящая к снижению доли мышечной массы. При дефиците массы тела, если не выявляется патологии со стороны эндокринной системы, то школьнику рекомендуется специальный комплекс физических упражнений. В большинстве случаев дефицит массы тела обусловлен слабым развитием мускулатуры. Коррекцию дефицита массы тела обеспечивают только силовые нагрузки при соответствующем изменении режима питания. Наибольшее внимание следует уделять мышцам брюшного пресса и спины, участвующим в большинстве двигательных процессов бытового, трудового и спортивного характера, обеспечивающим мышечный корсет, необходимый для формирования осанки и профилактики повреждений позвоночника, а также нормального функционирования внутренних органов. К силовым возможностям мышц брюшного пресса и спины детей и подростков в учебных заведениях предъявляются высокие требования, так как они обеспечивают устойчивость позы при длительном сидении за учебным

столом, что важно для сохранения работоспособности школьника и снижения риска возникновения нарушения осанки.

Таблица 1.

Распределение по градациям норм %ЖМТ, АКМ, %АКМ обследованных контингентов учащихся общеобразовательных школ некоторых регионов России

Регион	%ЖМТ				АКМ			%АКМ		
	Истощение	Норма	Избыт. вес	Ожирение	Ниже нормы	Норма	Выше нормы	Ниже нормы	Норма	Выше нормы
Арзамас (n=583)	3,8	50,3	23,2	22,7	17,5	81,5	1,0	43,1	52,1	4,8
Арзамасский р-н (n=550)	8,1	49,5	21,8	20,6	12,1	84,4	3,4	40,5	51,7	7,8
Йошкар-Ола (n=795)	3,3	11,2	59,6	25,9	20,1	78,1	1,8	21,8	61,6	16,6
Марий Эл (535)	2,6	41,5	35,9	20,0	13,5	83,7	2,8	43,8	55,2	1,0
Москва (n=1691)	5,1	40,9	25,1	28,9	16,3	80,9	2,8	25,4	60,6	14,1
Н.Новгород (n=2205)	2,8	12,4	61,6	23,0	10,2	87,2	2,6	6,3	62,9	30,8
Пермь (n=1585)	2,9	22,3	21,7	53,1	10,6	85,7	3,7	24,4	62,1	13,4
Санкт-Петербург (n=4521)	4,0	39,1	27,4	29,5	18,9	79,7	1,5	21,7	61,2	17,1
Старый Оскол (n=2139)	4,3	7,9	52,8	35,0	10,6	86,9	2,5	12,4	58,3	29,3
Тамбов (n=298)	4,7	12,8	59,6	22,9	7,7	87,3	5,0	7,7	38,0	54,3
Чебоксары (n=5723)	3,3	39,5	30,3	26,9	25,0	74,1	0,9	26,0	62,5	11,5
Среднее знач.	3,4	29,8	38,1	28,0	14,8	82,7	2,5	24,8	56,9	18,3



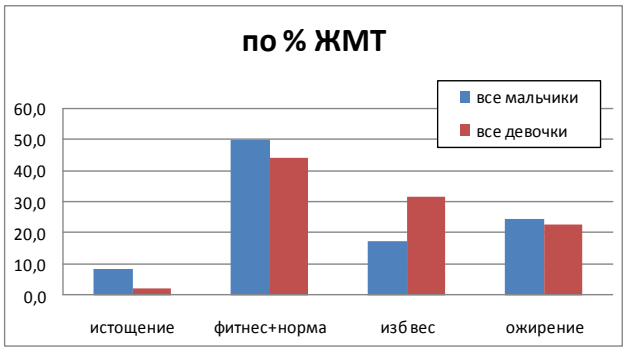


Рис. 1. Гистограммы распределений обследованных групп в зависимости от значений %ЖМТ у школьников г. Тамбов

При избыточном весе или ожирении, если не выявляется патологии со стороны эндокринной системы, школьнику рекомендуется диета, богатая овощами, фруктами, нежирным мясом, рыбой, молочными продуктами. Один раз в неделю разгрузочный день (яблочно-кефирный). Увеличение двигательной активности: утренняя гимнастика с последующим контрастным закаливанием, самостоятельные занятия по выданному комплексу упражнений, ежедневные прогулки не менее часа с быстрой ходьбой и бегом трусцой, плавание 2-3 раза в неделю, а зимой – ходьба на лыжах.

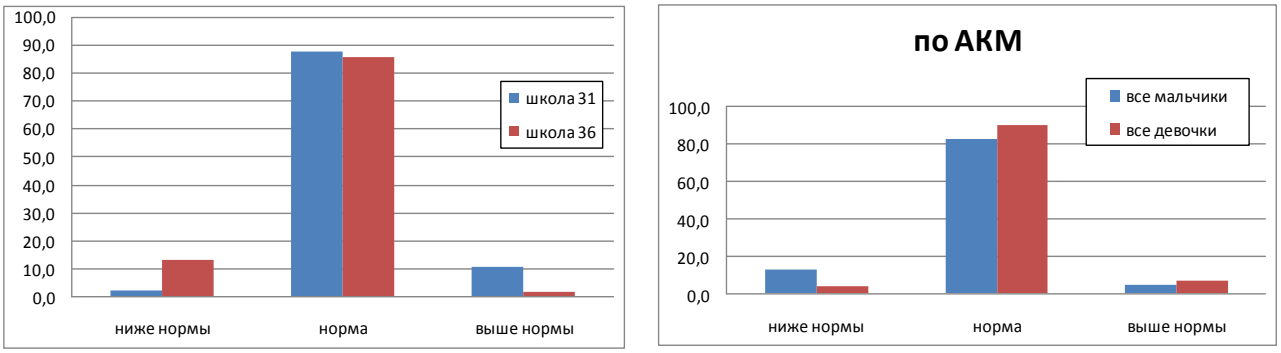


Рис. 2. Гистограммы распределений обследованных групп школьников в зависимости от значений АКМ. Ниже нормы – недостаточность белковой компоненты питания

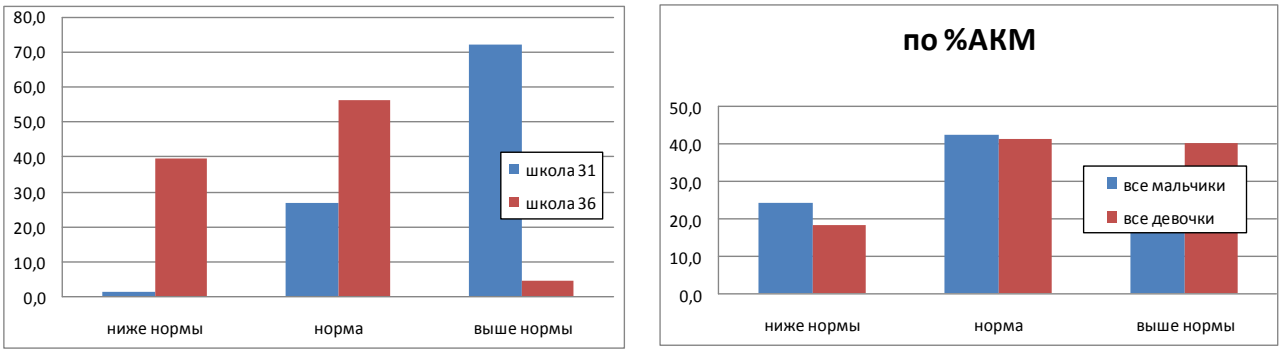


Рис. 3. Гистограммы распределений обследованных групп школьников в зависимости от значений %АКМ

Результаты обследования состава тела юных московских *спортсменов*, занимающимися различными видами спорта (хоккей, большой теннис, плавание, борьба и др.) представлены в табл. 2. По сравнению со школьниками, не занимающимися спортом, у юных спортсменов вдвое чаще встречается дефицит жировой массы, и вдвое реже – избыточный вес и ожирение. Свыше двух третей обследованной группы юных спортсменов имели пониженные значения АКМ, что свидетельствует о недостаточности белкового питания. Полученные данные указывают на необходимость периодического контроля нутритивного статуса и индивидуального подбора рациона, а также улучшения информированности детей, их родителей и тренеров в вопросах рационального питания детей и подростков, занимающихся спортом.

Проблема питания детей, занимающихся как в общеобразовательных школах так и занимающихся спортом, заключается в необходимости обеспечения ребенка всеми необходимыми макро- и микронутриентами в достаточно компактном виде. Эта проблема стоит особенно остро в условиях высоких физических нагрузок у спортсменов высокой квалификации, когда потребность в белке, витаминах и минеральных веществах существенно возрастает, а возможность получить полноценное питание уменьшается из-за интенсивного режима тренировок. Поэтому необходимо использование специальных продуктов, обогащенных определенным набором нутриентов. В спортивной медицине наблюдается серьезный дефицит исследований влияния нутритивной поддержки на эффективность тренировочного процесса и спортивные достижения, проведенных в соответствии с принципами доказательной медицины [7,8]. Анализ публикаций показывает, что при недостатке витаминов у спортсменов на 7-12% снижаются максимальная работоспособность, потребление кислорода, выносливость, физическая сила, повышается уровень лактата в крови, а дополнительный прием витаминов лицами с субклиническими признаками дефицита витаминов сопровождается повышением работоспособности [9,10]. Это означает, что для улучшения состояния здоровья, и тем более спортивных достижений, необходима оптимальная обеспеченность организма витаминами, белками и углеводами.

Таблица 2.

Распределение по градациям норм %ЖМТ, АКМ, %АКМ обследованных учащихся детско-юношеских спортивных школ г. Москвы

Регион	%ЖМТ				АКМ			%АКМ		
	Истощение	Норма	Избыт. вес	Ожирение	Ниже нормы	Норма	Выше нормы	Ниже нормы	Норма	Выше нормы
НЦЗД РАМН (n=355)	7	18	58	17	10	84	6	19	53	28
Самбо 70 Москва (n=495)	37	46	8	9	3	81	16	20	71	9

Обучение в вузе – специфическая форма интеллектуальной деятельности. Возрастающие информационные нагрузки, интенсификация обучения не всегда адекватны физиологическим возможностям организма, что в конечном итоге может привести к развитию и прогрессированию заболеваний. Этому способствуют снижение уровня здоровья выпускников школ, значительное психоэмоциональное напряжение, нарушения режима труда и отдыха [11]. В значительной степени на ухудшение показателей здоровья оказывает влияние ограничение двигательной активности [12].

Длительность гипокинезии определяет степень снижения уровня физической подготовленности и физической работоспособности, функционального состояния сердечно-сосудистой системы и напряжения механизмов регуляции (вегетативной реактивности и вегетативного обеспечения деятельности). Объективную информацию о наличии факторов риска, отражающих морфофункциональное состояние организма студентов, дает биоимпедансный анализ состава тела. В табл. 3 представлены данные биоимпедансных обследований студентов вузов из некоторых регионов России. Наибольшая распространенность истощения по %ЖМТ наблюдалась среди московских и ярославских студентов, а с дефицитом белкового питания – в Йошкар-Оле и Казани. Наибольшая частота встречаемости гиподинамии выявлена у казанских и московских студентов (данные по Йошкар-Оле были представлены в основном студентами-спортсменами). На рис. 4-6 представлены гистограммы распределений численностей обследованных групп студентов московского (МосГУ, n=247) и казанского вузов (КГМУ, n=518) в зависимости от значений %ЖМТ, АКМ и %АКМ.

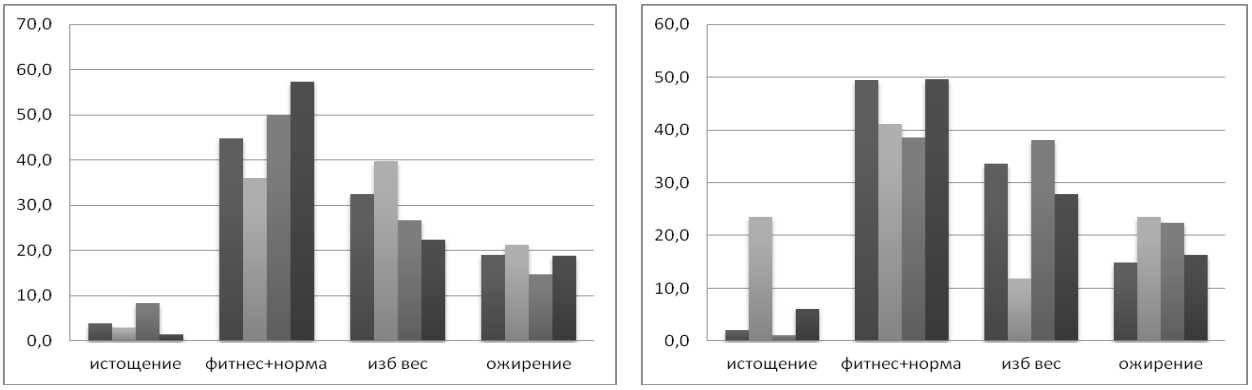
Таблица 3.

Распределение по градациям норм %ЖМ, АКМ, %АКМ обследованных контингентов студентов ВУЗов некоторых регионов России

Регион	%ЖМ				АКМ			%АКМ		
	Ист.	Норма	Изб.	Ожир.	Ниже	Норма	Выше	Ниже	Норма	Выше
Йошкар-Ола (n=46)	0	32,6	41,3	26,1	4,4	93,4	2,2	2,2	78,3	19,5
Казань (n=518)	2,5	41,7	35,1	20,7	4,4	93,1	2,5	36,7	61,8	1,5
Москва (n=247)	6,5	47,8	29,1	16,6	1,2	81,4	17,4	18,6	67,2	14,2
Ярославль (n=312)	6,7	54,8	26,6	11,9	3,2	93,9	2,9	10,6	71,2	18,2
Среднее зн.	3,9	44,2	33,0	18,8	3,3	90,5	6,3	17,0	69,6	13,4

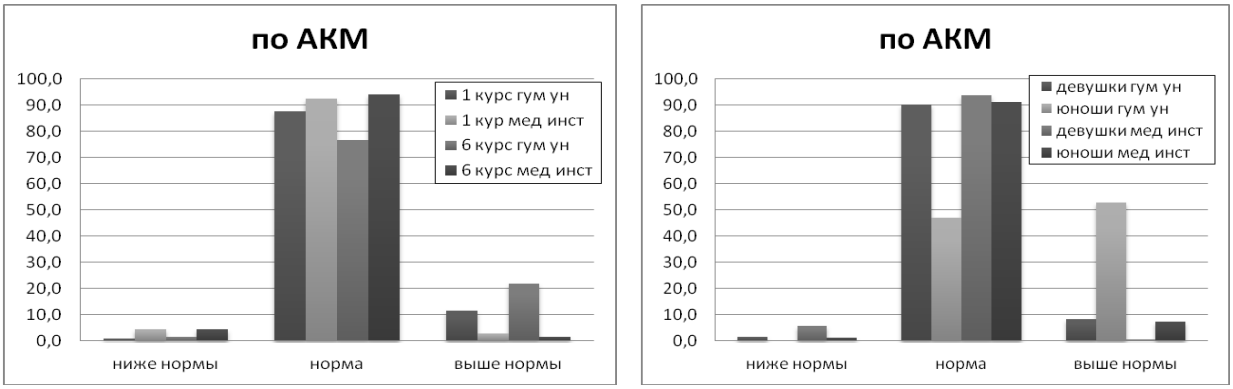
В обследованных группах студентов обоих вузов видна тенденция к нормализации с возрастом значений %ЖМТ (рис.4А) и снижению уровня двигательной активности (рис. 6А) при заметных половых различиях показателей состава тела (рис.4Б-6Б). У девушек в боль-

шей степени определяется избыточный вес (рис. 4Б), что, по-видимому, обусловлено более выраженной гиподинамией и неадекватным питанием (рис. 6Б).



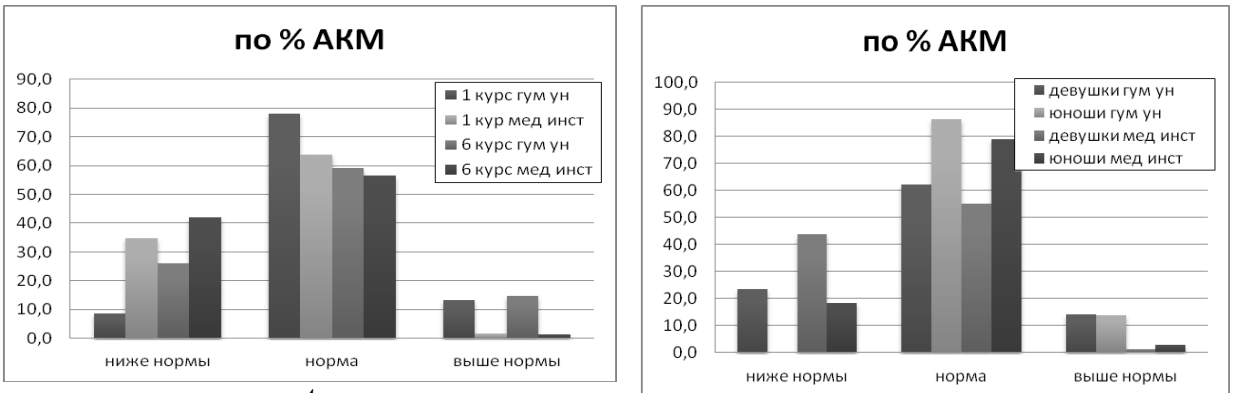
А *Б*

Рис. 4. Гистограммы распределений обследованных групп студентов в зависимости от значений %ЖМТ: А) Столбцы слева направо: 1-й курс МосГУ, 1-й курс КГМУ, 6-й курс МосГУ, 6-й курс КГМУ; Б) Столбцы слева направо: девушки МосГУ, юноши МосГУ, девушки КГМУ, юноши КГМУ



А *Б*

Рис. 5. Гистограммы распределений обследованных групп в зависимости от АКМ



А *Б*

Рис. 6. Гистограммы распределений обследованных групп в зависимости от %АКМ

По данным Л. В. Антиповой, М. Е. Успенской, Е. А. Рассадникова выявлено, что энергетическая ценность рационов питания студентов в течение недели распределяется неравномерно, чаще наблюдается ее общее снижение на 13-18%, что связано с сознательным исключением из меню ужина горячих блюд или неадекватной заменой кисломолочными продуктами или фруктами. Энергетическая ценность рационов питания студентов с избыточной мас-

сой тела характеризуется превышением нормативного уровня на 12-19%, что обусловлено приемом высококалорийных продуктов, сочетающих мясопродукты с гарнирами из круп и макаронных изделий, отсутствием супов и блюд из овощей.

В целом, для повышения уровня функционального состояния студентов необходимо систематическое использование физических нагрузок и адекватного питания, способствующих укреплению и сохранению здоровья.

Заключение

Биоимпедансный анализ состава тела – доступный и высокоинформативный метод оценки нутритивного статуса и двигательной активности, способствующий раннему выявлению нарушений липидного, белкового, водного обмена и метаболических нарушений у учащихся школ и вузов. Метод позволяет выявлять нуждающихся в индивидуальных физкультурно-оздоровительных программах и режимах питания. Предложены алгоритмы формирования групп риска и варианты анализа данных биоимпедансного скрининга организованных коллективов на основе классификации значений %ЖМТ, АКМ и %АКМ.

Проведенное обследование выявило группы индивидов, нуждающихся в коррекции нарушений нутритивного статуса путем изменения режимов питания и уровня физической активности. Соответствующие контингенты могут быть направлены в Центры здоровья для углубленного динамического наблюдения и своевременного проведения профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий.

Список литературы

[1] *World Health Statistics 2011*, World Health Organization, Geneva (2011)
[2] P.B. Soeters, P.L.M. Reijven et al., *Clin. Nutr.* **27** (2008) 706
[3] Д.В. Николаев и соавт., *Биоимпедансный анализ состава тела человека*, Наука, Москва (2009) http://window.edu.ru/window/library?p_rid=73030
[4] И.С. Решетников, *Функциональная диагностика* **4** (2009) 84
[5] А.В. Смирнов и соавт., АВС-01 “Медасс”: анализатор оценки баланса водных секторов организма с программным обеспечением (руководство пользователя). НТЦ Медасс, Москва (2009)
[6] О.А. Старунова, *Сборник статей молодых учёных факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова* **8** (2011) 129
[7] *Sport Nutrition Conference*, Zurich (2010) www.nestlenutrition-institute.org
[8] *Sport Nutrition Conference*, Mallorka (2011) www.nestlenutrition-institute.org
[9] M.M. Manore, *Am. J. Clin. Nutr.* **72** (2000) 598S
[10] В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, Д.Б. Никитюк, *Вопросы питания* **78** (2009) 60
[11] А.А. Баранов, *Педиатрия* **3** (1999) 4
[12] Н.А. Фомин, *Адаптация: общебиологические и психофизиологические основы*, Теория и практика физической культуры, Москва (2003)

О ВОЗМОЖНОСТЯХ БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ТКАНЕЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, В. А. Колесников

АО НТЦ «МЕДАСС», Москва
e-mail: dvn@medass.ru

In this work, a new device and results on bioimpedance spectrometry application to study electric properties of near-surface biological tissues in alpha-dispersion frequency range are presented.

1. Введение. Биоимпедансный анализ состава тела (БИА), как метод для оперативной оценки статуса питания, скрининговых обследований различных групп населения, мониторирования больных на этапе реабилитации, все прочнее занимает место быстрого, комфортного, неинвазивного, рутинного метода в отечественном здравоохранении. Как правило, в БИА используется две частоты зондирующего тока: 50 и 5 кГц. Значительно менее распространены диагностические методики и приборы, основанные на многочастотном анализе проводимости тканей тела человека – биоимпедансные спектрометры (БИС).

Среди отечественных биоимпедансных анализаторов спектрометрические измерения может выполнять АВС-01 «Медасс» с программой АВС01-038 (31 частота в диапазоне от 5 до 500 кГц). Некоторые результаты измерений с помощью этого прибора были приведены в работе [1]. В настоящее время разработан новый биоимпедансный спектрометр АБИС-01 «Медасс», который может выполнять измерения на 91 частоте в диапазоне от 2 Гц до 2 МГц.

Результатом измерений с помощью БИС являются частотные зависимости активного сопротивления (R) и реактивного сопротивления (Xc) (рис. 1) и годографы комплексного импеданса $\mathbf{Z}(\omega)$ (рис. 2) и комплексной проводимости $\mathbf{Y}(\omega)$. Напомним, что годографом (а также графиком Весселя или Найквиста) называется зависимость реактивной составляющей импеданса от активной составляющей. Во многих БИС выполняется расчет параметров общепринятой модели частотной зависимости биоимпеданса (модели Cole) [2,3]: характеристической частоты, параметра $\boldsymbol{\alpha}$ и др. Годограф, аппроксимируемый по модели Cole, имеет вид дуги окружности.

Первые работы по многочастотным измерениям параметров электрического импеданса были выполнены в начале 20 века и направлены на определение нормальных (типичных) значений для различных тканей организма человека. Позднее такие работы повторялись разными исследователями на все более высоком техническом уровне [4,5].

Результаты проведенных на сегодняшний день исследовательских работ демонстрируют достаточно широкий круг перспективных направлений исследований, как *in vitro*, так и *in vivo*.

Предметом исследований *in vitro* были: кровь [6,7]; ткани мозга человека [8]; почечный трансплантат [9,10,11]; здоровая, ишемизированная и рубцовая ткани сердца свиньи [12]; здоровые и с моделью онкологического заболевания мышечные ткани крыс [13]; эпителия мочевого пузыря при карциноме [14].

In vivo исследовались свойства: участка десны человека при пародонтитах и пародонтозах [3,15], мозга новорожденных поросят [16], верхняя часть головы человека, у здоровых добровольцев и при отеке мозга [3,17], правая половина торакальной части туловища человека у добровольцев и при отеке легких [18,19], стандартного отведения запястье-голеностоп [20], онкологических заболеваний кожи [21], изменений свойств участков кожи в пробах с химическими раздражителями [22], здоровой кожи головы [23,24], кожи при аллергических реакциях [25], эпителия и тканей неглубокого залегания шейки матки при [26]. Выполненные исследования показали, что для многих тканей годограф биоимпеданса содержит два участка, аппроксимируемых дугами окружностей. На частотах от долей герца до единиц килогерц

изменение комплексной проводимости тканей обусловлено различными неоднородностями клеточной структуры биологических тканей [9]. Этот частотный диапазон соответствует α-дисперсии. В диапазоне β-дисперсии от десятков килогерц до примерно 100 МГц сказывается эффект Максвелла-Вагнера, заключающийся в уменьшении с ростом частоты эффективной диэлектрической проницаемости многослойного диэлектрика с различными диэлектрическими проницаемостями слоев. Также на этих частотах имеет место постепенное уменьшение поляризуемости больших белковых молекул [2].

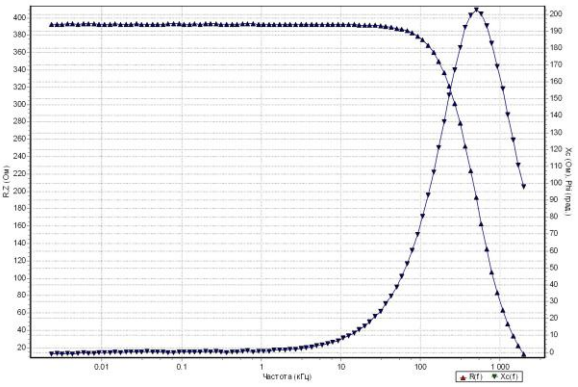


Рис. 1. Графики частотных зависимостей составляющих импеданса эквивалентной схемы биологического объекта (91 частота в диапазоне от 2 Гц до 2 МГц). Монотонно убывает активное сопротивление (R), Реактивное сопротивление (X_C) имеет максимум на частоте, называемой характеристической

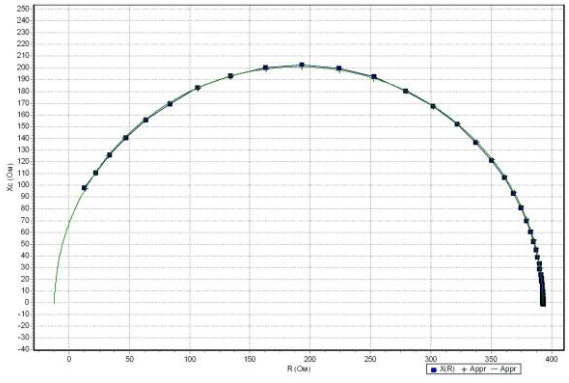


Рис. 2. Годограф $X_C(R)$ импеданса эквивалентной схемы биологического объекта (91 частота в диапазоне от 2 Гц до 2МГц). Слева видна экстраполированная часть без экспериментальных точек

Именно диапазон β-дисперсии доступен для измерений большинством биоимпедансных анализаторов. В то же время область α-дисперсии пока исследована слабо в силу отсутствия соответствующей аппаратуры. Биоимпедансный спектрометр АБИС-01 «Медасс» позволяет выполнять измерения на самых низких частотах, начиная с 2 Гц, то есть охватывает диапазон частот, в котором наблюдается α-дисперсия для многих тканей тела человека. Опишем некоторые представляющие интерес результаты применения нового биоимпедансного спектрометра.

2. Исследования импедансных параметров кожи и подкожных тканей. Кожа является перспективным объектом для биоимпедансного анализа. Изучение нормальных значений биоимпедансных параметров кожи и их динамики необходимы как для оценки точности других неинвазивных исследований (состава тела, гемодинамики), так и для изучения ответных реакций на раздражители, используемые в физиотерапии, косметологии, аллергологии, дерматологии, при лучевых воздействиях и др.

Кроме того, кожа и прилегающие к ней ткани на глубину 5-10 мм являются наиболее доступным и не требующим применения микроскопических электродов объектом исследований. Для большинства из упомянутых выше исследований были разработаны оригинальные электродные системы, и само исследование требовало кропотливой предварительной подготовки объекта исследования. В то же время, практически любой участок кожи допускает прижим и удержание плоского четырехконтактного электрода размерами 10х10 или 15х15 мм (рис. 6). Способы подготовки кожи к биоимпедансным измерениям и электродные проводящие гели широко известны и используются в кардиографии, функциональной диагностике и косметологических исследованиях гидратации кожи. Таким образом, биоимпедансные спектрометрические исследования свойств кожи и подкожных тканей человека сравнительно более доступны, чем других, глубже залегающих тканей. До недавнего времени биоимпедансные исследования кожи и подкожных тканей in vivo выполнялись только на относитель-

но высоких частотах, то есть в диапазоне β-дисперсии. Это объяснялось, очевидно, отсутствием необходимой аппаратуры. В последние годы некоторым исследователям удалось продвинуться в диапазоны частот, начинающиеся с единиц и даже долей герца.

В работе [20] приведены результаты измерений биоимпеданса различных участков поверхности тела человека в диапазоне частот от 1 Гц до 1 МГц, выполненных по четырехэлектродной схеме с помощью системы Solartron 1260/1294. На полученных годографах комплексной проводимости отчетливо видны области как β-дисперсии, так и α –дисперсии (рис. 3,4). В случае измерений на голени (рис. 3) наблюдается сдвиг характеристических частот при изменения ориентации электродной системы на 90° (от «вдоль мышечных волокон» к «поперек мышечных волокон»). А при измерениях на предплечье получен годограф с двумя дугообразными участками с характеристическими частотами 6 и 100 Гц.

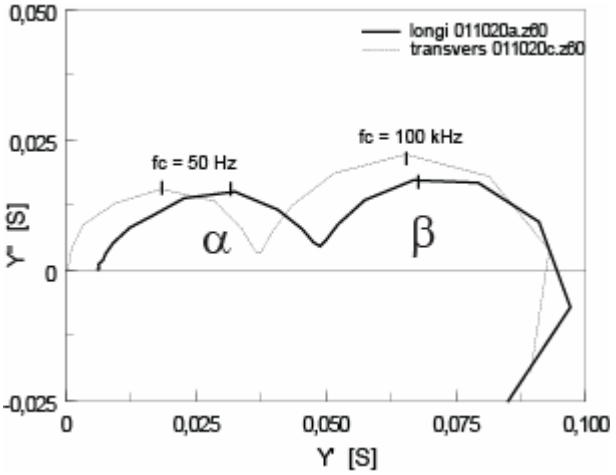


Рис. 3. Годограф **Y**(ω) участка голени

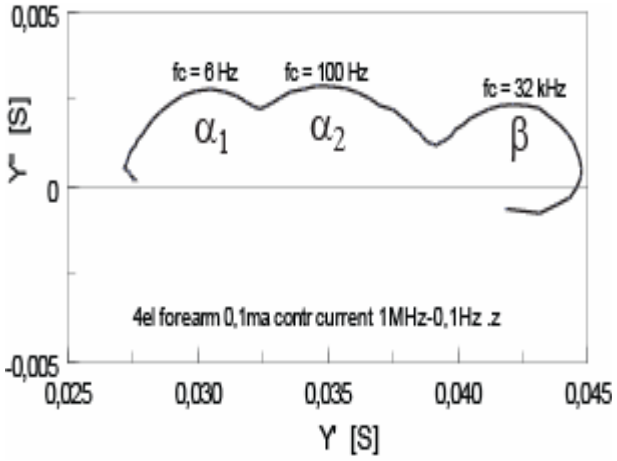


Рис. 4. Годограф **Y**(ω) участка предплечья

Авторы упомянутой работы указывают, что механизмы, отвечающие за α-исперсию, пока мало изучены. Среди известных фактов отмечается, что у крови α-дисперсия отсутствует вообще, а для мышечной ткани выраженность α-дисперсии сильно уменьшается после смерти организма.

Интересно также отметить, что при измерениях кожи in vitro [5] получены частотные характеристики комплексной проводимости без α-дисперсии. Можно предположить, следуя Grimnes S. и Martinsen Ø.G., что наличие α-дисперсии обусловлено процессами в тканях живого организма.

Цель исследования: получение данных об α-дисперсии участков кожи и подкожных тканей in vivo и о влиянии на параметры α-дисперсии некоторых применяемых в медицинской практике тестов, изменяющих кровенаполнение мелких сосудов.

3. Материал и методы. В проведенных нами экспериментах выполнялись измерения биоимпедансных параметров на внутренней поверхности плеча в двух режимах: фоновом, без предварительных воздействий, и после приложения к участку кожи, на котором располагалась электродная система, пониженного давления. Для приложения пониженного давления использовались вакуумные массажные банки с ручным насосом для декомпрессии (производства ООО «Массажер», г. Самара). Время экспозиции пониженного давления не превышало 2,5 мин.

Для биоимпедансных спектрометрических исследований в диапазоне частот от 2 Гц до 50 кГц использовался разработанный НТЦ «МЕДАСС» экспериментальный анализатор биоимпедансных спектров АБИС-01 «МЕДАСС» (рис. 5). Математическая обработка данных биоимпедансной спектрометрии выполнялась программным обеспечением анализатора, включая построение графиков частотных зависимостей активного сопротивления R, реак-

тивного сопротивления X, модуля импеданса Z, фазового угла φ и годографов комплексного импеданса **Z**(ω) и комплексной проводимости **Y**(ω).

Дополнительно выполнялась аппроксимация экспериментальных данных с расчетом параметров модели Cole, а также координат центра, верхней точки и точек пересечения годографа с координатными осями. Для выявления зависимостей от времени автоматически проводились серии измерений, а их результаты отображались в виде двух- или трехмерных графиков. Использованная в измерениях электродная система была выполнена из четырех позолоченных контактов 2×20 мм на квадратной диэлектрической подложке 20×20 мм (рис. 6).

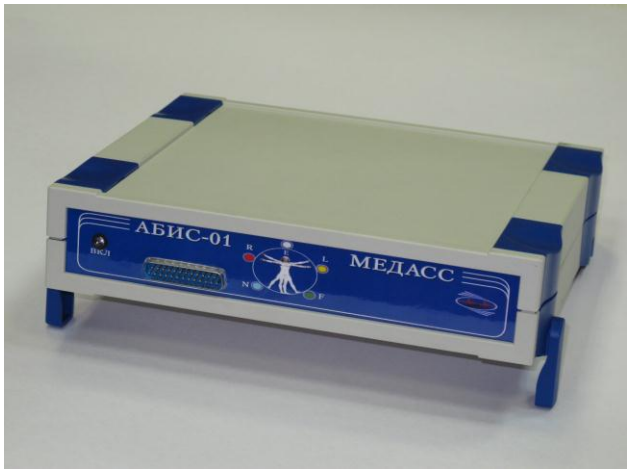


Рис. 5. Внешний вид экспериментального анализатора биоимпедансных спектров АБИС-01 «МЕДАСС»

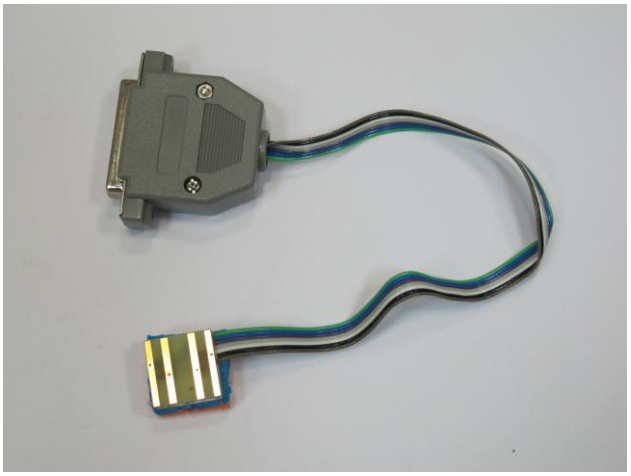


Рис. 6. Внешний вид электродной системы для исследования кожи и подкожных тканей неглубокого залегания

4. Результаты и обсуждение. В некоторых частях предплечья и плеча, там где толщина подкожного жирового слоя меньше глубины чувствительности электродной системы (3-5 мм), область **α**-дисперсии отчетливо видна на графиках (рис. 7, 8). На рис. 7 видны: слева – область β-дисперсии с характеристической частотой около 6 кГц; справа – область **α**-дисперсии с характеристической частотой около 6 Гц. На рис. 8 те же результаты представлены в виде зависимости от частоты параметров проводимости **Y**(ω), и область **α**-дисперсии расположена слева, область β-дисперсии (справа) показана не полностью.

На рис. 9 представлены в трехмерном изображении годографы, построенные по данным измерений до и после вакуумного воздействия. На обеих кривых видны области **α** и β-дисперсии. Отрезками прямых соединены точки с одинаковыми частотами зондирования. Характеристические частоты для измерений до воздействия – 4.8 и 0.035 Гц, а после вакуумного воздействия – 5.9 и 0.061 Гц, причем во втором случае в области самых низких частот наблюдается подъем еще одной дуги годографа, для полного изображения которой оказался недостаточным нижний предел диапазона частот 2 Гц. Сдвиг кривой в сторону более низких значений активного и реактивного сопротивлений свидетельствует об увеличении кровенаполнения исследуемой области. Так, на частоте 2 Гц активное сопротивление снизилось в 1,5 раза, а реактивное – в 1,9 раза.

Интерес представляет сравнение годографов **Z**(ω), полученных в фоновом состоянии участка внутренней поверхности верхней части бицепса, после воздействия только на кожу этого участка – локальным механическим раздражением, и после вакуумного воздействия (рис. 11, 12). Локальное механическое раздражение кожи производилось трением синтетической ткани с минимальной силой прижима до появления видимого покраснения. На рис. 10 представлены две группы годографов, соответствующие фоновым измерениям и после вакуумного воздействия. Интервалы между измерениями – около 3 мин.

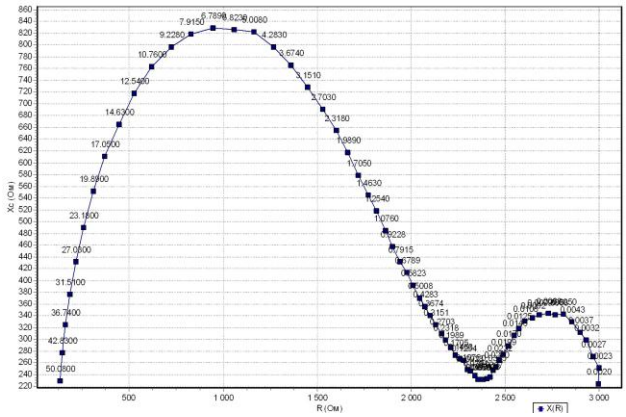


Рис. 7. Годограф **Z**(ω), полученный на внутренней стороне плеча, прилегающей к бицепсу, при измерении поперек мышечных волокон

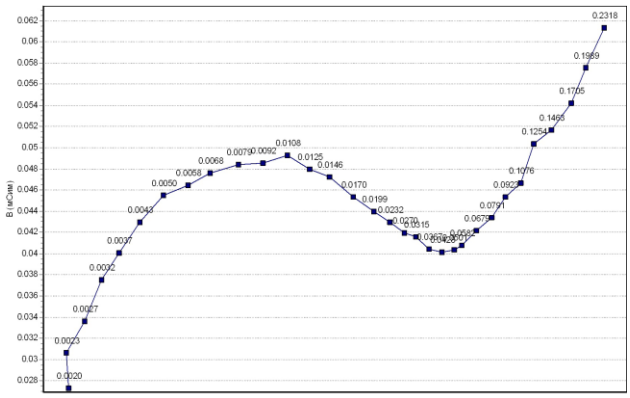


Рис. 8. Годограф **Y**(ω), построенный по тем же данным, что и на рис.7

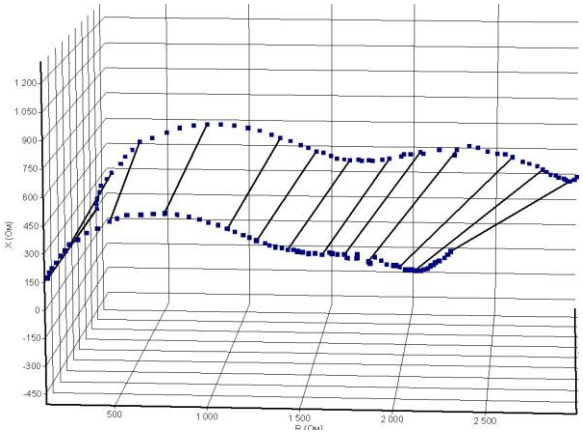


Рис. 9. Трехмерное представление годографов **Z**(ω) нижней внутренней стороны бицепса вдоль мышечных волокон: дальний – фоновое измерение, ближний – после вакуумного воздействия. Отрезками соединены точки с одинаковыми частотами зондирования

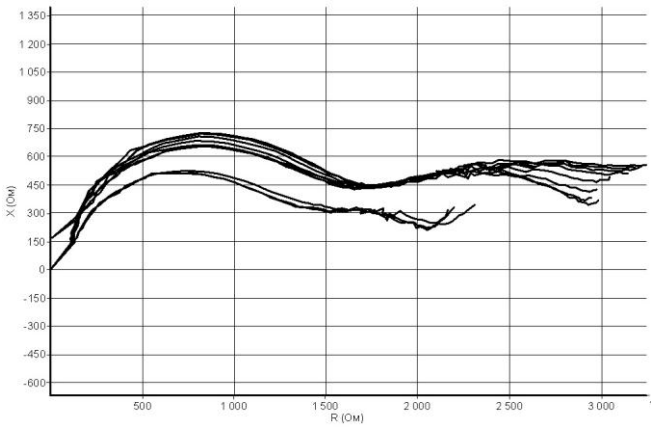


Рис. 10. Двумерное представление годографов **Z**(ω) нижней внутренней стороны бицепса вдоль мышечных волокон: верхняя группа – фоновые кривые с интервалом 3 минуты, нижняя – после вакуумного воздействия с экспозицией 2,5 минуты

Смещение активного сопротивления точек, соответствующих минимальной частоте зондирующего тока – 2 Гц, составило для механического раздражения – 3395 Ом а для вакуумного воздействия – 3452 Ом. В результате обоих видов воздействия дуга годографа, связанная с **α**-дисперсией, становится более выраженной и перемещается в более высокочастотную область, причем в случае вакуумного воздействия этот эффект заметен сильнее.

На рис. 13 показаны годографы **Z**(ω) в диапазоне частот 2–50000 Гц участка ладони добровольца во время постурального теста. Фоновая запись производилась в позе лежа на спине, тестовая – при опущенной вниз руке. Нижний график соответствует фоновому измерению, верхние – двум стадиям теста: на 2-й и на 3-й минутах после опускания расслабленной руки. Высокочастотные области графиков (на рисунке – слева) изменились незначительно. Форма низкочастотных областей (на рисунке – справа), изменились значительнее, и ширина участка **α**-дисперсии увеличилась в несколько раз. Кажущееся аномальным повышение значений импеданса низкочастотной части графика, по-видимому, связано с включением миогенных механизмов регуляции сосудистого русла подкожных тканей ладони. На рис. 14 представлены годографы **Z**(ω) участка запястья той же руки в фоновом положении на уровне сердца и на 2-й минуте постурального теста. На верхнем графике изображены фоновые результаты измерения, на нижнем – при опущенной руке. Видно, что влияние теста выразилось в снижении импеданса подэлектродных тканей. На

этот раз результат эксперимента соответствует очевидному повышению емкости венозного русла в измеряемом участке. Ширина участка **α**-дисперсии при этом снизилась.

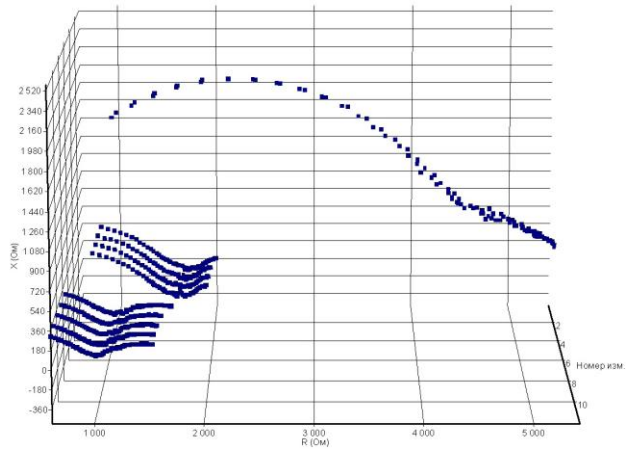


Рис. 11. Трехмерное представление годографов **Z**(ω) внутренней стороны бицепса вдоль мышечных волокон: дальний – фоновый, в середине – после раздражения кожи, ближний – после вакуумного воздействия.

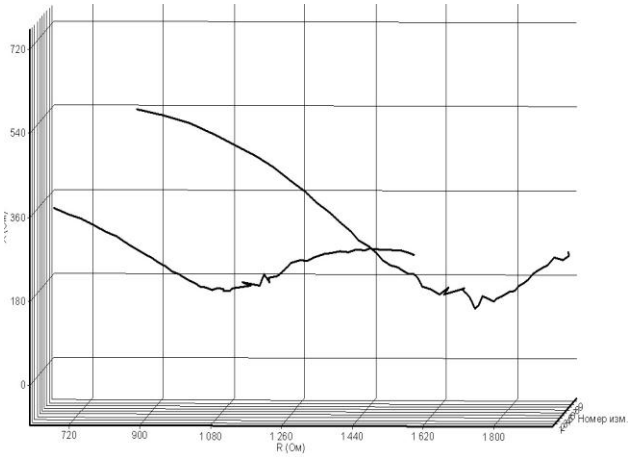


Рис. 12. Годографы **Z**(ω) внутренней стороны бицепса вдоль мышечных волокон: справа – после раздражения кожи, слева – после вакуумного воздействия.

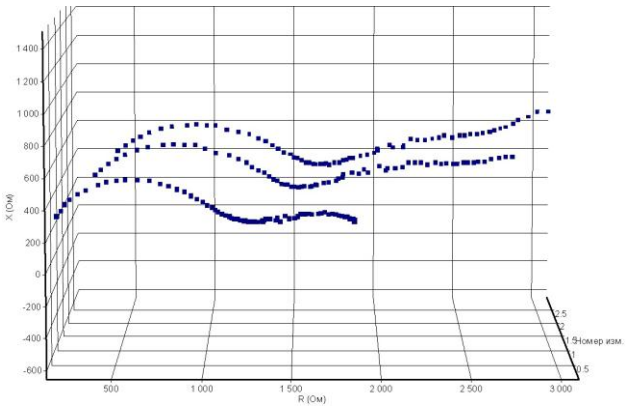


Рис. 13. Годографы **Z**(ω) участка ладони: внизу – фон, вверху – на 2-й и 3-й минутах постурального теста

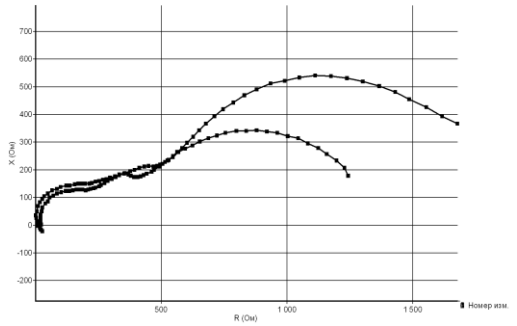


Рис. 14. Годографы **Z**(ω) запястья вверху – фон, внизу – на 2-й минуте постурального теста

Все три описанных выше теста: механическое раздражение, вакуумное воздействие, постуральный тест, приводили к однотипным физиологическим последствиям в области чувствительности электродной системы – расширению мелких сосудов венозного русла. При этом в одном из экспериментов (рис. 13) показан результат особого типа регуляции кровенаполнения тканей ладони.

5. Заключение

1. Перечисленные в обзорной части результаты научно-исследовательских и клинических работ свидетельствуют о востребованности биоимпедансного спектрометрического метода в различных областях диагностических исследований.

2. Разработанный анализатор АБИС-01 «Медасс» обеспечивает исследования биологических тканей в областях частотного спектра, соответствующих α и β-дисперсии биоимпедансных параметров.

3. Результаты приведенного в статье исследования показывают, что метод БИС позволяет количественно оценивать изменение кровенаполнения подкожных сосудов в ходе некоторых физиотерапевтических воздействий и косметологических процедур, связанных с раз-

дражением кожи и подкожных тканей, таких как массаж, обертывание, банки, воздействие микротоками, гирудотерапия. Объектами перспективных направлений исследований могут стать оценки эффективности применения лекарственных препаратов в составе мазей, контроль приживления кожных лоскутов.

Авторы надеются, что продемонстрированные результаты экспериментов и методика исследований заинтересуют физиологов и клиницистов, чья область интересов включает функционирование мелких сосудов в тканях неглубокого залегания.

Авторы надеются, что продемонстрированные результаты экспериментов и методика исследований заинтересуют физиологов и клиницистов, чья область интересов включает функционирование мелких сосудов в тканях неглубокого залегания.

Список литературы

[1] А.В. Смирнов, Д.В. Николаев, Сб. тр. 9-й науч.-практ. конф. «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы», Москва (2007) 205.
[2] S. Grimnes, Ø.G. Martinsen, *Bioimpedance and bioelectricity basics*, Academic, London (2008).
[3] Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская, С.Г. Руднев, *Биоимпедансный анализ состава тела человека*, Наука, Москва (2009).
[4] H.P. Schwan, in: Advances in Biological and Medical Physics (Eds. J.H. Lawrence, C.A. Tobias), V.5. N.Y., Acad. Press (1957) 147.
[5] S. Gabriel, R.W. Lau, C. Gabriel, Phys. Med. Biol. **41** (1996) 2251.
[6] М.В. Малахов, Автореф. дисс. … канд. мед. наук, Ярославль (2011) 24с.
[7] М.В. Малахов, А.А. Мельников, Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, Патент на полезную модель. № RU 107863 от 27.08.2011.
[8] Н.В. Власова, Д.В. Николаев, Сб. тр. 13-й науч.-практ. конф. “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”, Москва (2011) 141.
[9] A. Ivorra, M. Genesca, G. Hotter, J. Aguilo, in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Gdansk (2004) 87.
[10] R. Villa, L. Sanchez, A. Guimera et al., in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Gdansk (2004) 119.
[11] M. Genesca, A. Ivorra, A. Sola, in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance. Gdansk (2004) 127.
[12] M. Gheorghiu, E. Gersing, E. Gheorghiu, in: Proc. XI Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Oslo (2001) 49.
[13] E. Gersing, in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Gdansk (2004) 437.
[14] A. Keshtkar, F.C. Hamdy, B. Wilkinson et al., in: Proc. XI Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Oslo (2001) 289.
[15] O.N. Moskovets, D.V. Nikolaev, A.V. Smirnov, in: IFMBE Proc., v.17 (Eds. H. Scharfetter, R. Merwa). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg (2007) 142.
[16] B.E. Lingwood, K.R. Dunster, P.B. Colditz et al., in: Proc. XI Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Oslo (2001) 655.
[17] Э.Ф. Билалова, Автореф. дисс. … канд. мед. наук, Москва (2008) 27с.
[18] М.Ю. Орквасов, Г.Г. Иванов, Е.Ю. Ян-Борисова и соавт., Сб. тр. 13-й научно-практической конференции «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы», Москва (2011) 195.
[19] А.А. Данилов, В.Ю. Саламатова, Ю.В. Василевский и соавт., Сб. тр. 13-й научно-практической конференции «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы», Москва (2011) 150.
[20] S. Grimnes, Ø.G. Martinsen, *J. Phys.: Conf. Series* **224** (2010) 012073.
[21] P. Aberg, I. Nicander., J. Hansson et al., in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Gdansk (2004) 79.
[22] P. Aberg, I. Nicander, P. Geladi, S. Ollmar, in: Proc. XI Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Oslo (2001) 79.

[23] I. Nicander, I. Rantanen, E. Soderling, S. Ollmar, in: Proc. XI Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Oslo (2001) 87.
[24] Y. Yamamoto, T. Nakamura, K. Shirai et al., in: Proc. XI Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Oslo (2001) 121.
[25] N. Kuzmina, M. Nyren, M. Loden, in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Gdansk (2004) 111.
[26] B.H. Brown, P. Milnes, S. Abdul, J.A. Tidy, in: Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, Gdansk (2004) 429.

НУТРИТИВНЫЙ СТАТУС И СОСТАВ ТЕЛА БОЛЬНЫХ ТУБЕРКУЛЕЗОМ

С. Г. Руднев[1,2,4], Г. Н. Можокина[2], Е. М. Богородская[3], Н. Е. Галыгина[2], Д. В. Николаев[4], О. Е. Русских[2]

[1]Институт вычислительной математики РАН
[2]НИИ фтизиопульмонологии Первого МГМУ им. И. М. Сеченова
[3]Московский городской научно-практический центр борьбы с туберкулезом Департамента здравоохранения г. Москвы
[4]НТЦ <Медасс>, г. Москва
e-mail: sergey.rudnev@gmail.com

Туберкулез – хроническое инфекционное заболевание, нередко сопровождаемое нарушениями нутритивного статуса и изменениями состава тела. В настоящем обзоре представлены результаты исследований взаимосвязей нутритивного статуса и особенностей возникновения, течения и исхода болезни.
Tuberculosis (TB) is a chronic infectious disease commonly associated with malnutrition and alterations in body composition. Here, the data concerning the influence of nutritional state on TB incidence, course and outcome are reviewed.

1. Введение. Туберкулез – хроническое инфекционное и социально-зависимое заболевание [1] с высоким уровнем заболеваемости и смертности, максимум которых приходится на наиболее трудоспособный возраст [2]. Отличительную особенность туберкулеза, проявляющуюся нарушениями нутритивного статуса в форме катаболического сдвига, отражает название соответствующего раздела медицины – фтизиатрия (от греч. φθισιζ – чахотка, истощение, и ιατρεια – лечение). До появления антибиотиков, усиленное питание наряду с санаторно-курортным фактором и режимами гигиены использовалось в качестве основного метода лечения и профилактики туберкулеза. В настоящее время диетотерапия является неотъемлемой составляющей комплексного лечения больных туберкулезом, базирующегося на этиотропной химиотерапии [3].

Под нутритивным статусом понимается характеристика состояния организма в связи с балансом потребления и расхода нутриентов [4]. Нарушения нутритивного статуса наблюдаются у 20–60% клинических больных, при этом доказано влияние таких нарушений на заболеваемость, летальность, длительность пребывания в стационаре и стоимость лечения [5,6]. Несмотря на это как в России, так и за рубежом вопросам нутритивной поддержки и адекватного питания больных уделяется недостаточно внимания [5,7].

Для оценки нутритивного статуса больных туберкулезом применяются различные тесты, включая антропометрию, биохимический анализ крови, анализ иммунного статуса и другие [8,9]. Наиболее доступными для измерений маркерами нарушений нутритивного статуса являются масса тела и индекс массы тела.

2. Антропометрические индексы. В отечественном многоцентровом исследовании эффективности лечебно-диетической коррекции белково-энергетической недостаточности у 460 взрослых и детей больных туберкулезом органов дыхания было установлено, что динамика восстановления массы тела в процессе лечения коррелирует со снижением выраженности симптомов туберкулезной интоксикации, улучшением репаративных процессов и переноси-

мости лечения [10]. В зарубежном когортном исследовании того же количества взрослых больных туберкулезом (n=460) была выявлена значимая ассоциация изменений массы тела с частотой неблагоприятных исходов [11]. Больные с благоприятным исходом заболевания в течение первого месяца лечения прибавляли в весе в среднем 1 кг, а остальные столько же теряли в весе (p=0,003), соответствующие изменения через 4 ме. лечения составили 3 кг и 0,2 кг соответственно.

В эпидемиологическом скрининге для оценки рисков заболеваемости и смертности обычно используется не масса тела как таковая, а её отношение к квадрату длины тела, называемое индексом массы тела (ИМТ). Интервал нормальных значений ИМТ у взрослых людей составляет порядка 20-25 кг/м^2, высокие значения индекса ассоциированы с повышенной *смертностью* от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и диабета, а низкие значения индекса – от хронических болезней легких [12]. В статье [13] обобщены результаты многолетних исследований в ряде стран мира с развитой экономикой и выявлена обратная зависимость *заболеваемости* туберкулезом органов дыхания от ИМТ (рис. 1): снижение в среднем в два раза на каждые 5 единиц ИМТ в широком диапазоне значений индекса.

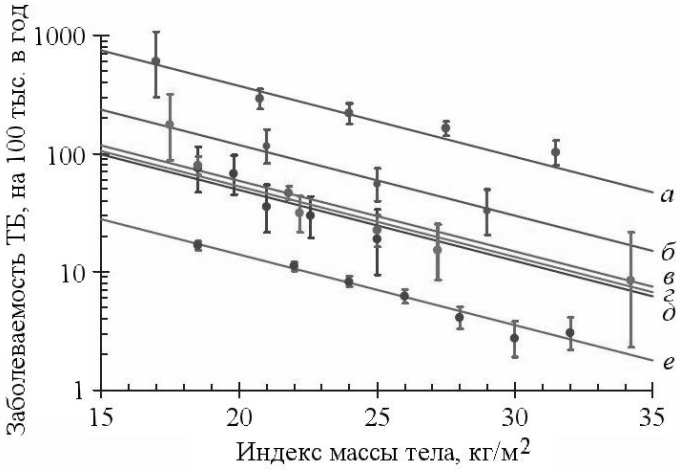


Рис. 1. Зависимость заболеваемости туберкулезом от ИМТ по данным исследований, проведенных в ряде стран мира: *а* – Гонконг, *б* – Финляндия, *в-д* – США, *е* – Норвегия [13]

В отечественных методических рекомендациях по диетотерапии больных туберкулезом ИМТ упоминается «как наиболее простой способ вычисления наличия нарушений питания» [3]. Связь ИМТ с ростом реактантов острой фазы воспаления и снижением показателей белкового обмена при туберкулезе показана в исследованиях Г. О. Каминской и соавт. [8]. В работе М. В. Титюхиной и соавт. [9] установлена корреляция восстановления ИМТ с ликвидацией метаболических нарушений в белковом обмене, особенно с нормализацией содержания в крови трансферрина.

Серьезным недостатком ИМТ является низкая диагностическая чувствительность индекса при определении наличия нарушений питания, которая составляет порядка 50% у клинических больных в странах с развитой экономикой [14,15]. Это означает, что в среднем каждый второй пациент с нарушенным нутритивным статусом диагностируется на основе ИМТ как имеющий нормальный статус питания.

3. Шкалы нутритивного риска. Для уточненной оценки нутритивного статуса в зарубежной клинической практике используются интегральные показатели статуса питания – шкалы нутритивного риска. Примером являются шкалы MNA (от англ. mini nutritional assessment), MUST (malnutrition universal screening tool), NRS-2002 (nutritional risk screening), SGA (subjective global assessment) и другие. В исследовании 39 больных туберкулезом легких (средний возраст 68±19 лет) была выявлена значимая ассоциация выраженности нарушений статуса питания по шкале SGA со временем дожития [16]. Среди умерших пациентов среднее время дожития при нормальном статусе питания составило 438 сут., при умеренном нарушении нутритивного статуса – 344 сут., а при выраженном нарушении – 118 сут. В ретроспективном исследовании 56 больных милиарным туберкулезом [17] повышенная частота развития острой дыхательной недостаточности и летальность значимо ассоциировались с высокими значениями балльной оценки выраженности нарушений нутритивного статуса. Балльная

оценка нутритивного риска формировалась исходя из наличия (1 балл) или отсутствия (0 баллов) у пациента следующих четырех признаков: низкого ИМТ (<18,5 кг/м^2), низкого содержания альбумина (<30 мг/мл), холестерина (<2,33 ммол/л) и лимфоцитопении (<700 кл/мл). Высокими считались значения суммы баллов, равные 3 или 4.

4. Состав тела. Согласно определению, принятому Европейской и Американской ассоциациями клинического питания и метаболизма, под нарушением нутритивного статуса (malnutrition) понимается кратковременное, переходное или хроническое состояние питания, при котором вследствие недоедания или переедания при наличии или в отсутствие воспаления наблюдаются изменения состава тела и функциональные нарушения [6,18,19]. Таким образом, современная диагностика нарушений нутритивного статуса основана на определении состава тела. Одна из возможностей этого связана с использованием индекса безжировой массы (иБМТ), равного отношению БМТ к квадрату длины тела [20,21]. В качестве критерия диагностики истощения у взрослых людей Schutz et al. [21] предложили использовать значения иБМТ<17 кг/м^2 для мужчин и иБМТ<14 кг/м^2 для женщин. Для этой же цели Schols et al. [20] применяли пороговые значения 16 кг/м^2 и 15 кг/м^2 для мужчин и женщин, соответствующие 5-му перцентилю значений иБМТ у здоровых людей (табл.).

Таблица

Критерии диагностики нарушений нутритивного статуса на основе индексов массы тела и безжировой (тощей) массы [20]

Характеристика нутритивного статуса	Пол			
	Мужской		Женский	
	ИМТ	иБМТ	ИМТ	иБМТ
Норма	≥ 21 кг/м^2	≥ 16 кг/м^2	≥ 21 кг/м^2	≥ 15 кг/м^2
Недоедание	< 21 кг/м^2	≥ 16 кг/м^2	< 21 кг/м^2	≥ 15 кг/м^2
Мышечная атрофия	≥ 21 кг/м^2	< 16 кг/м^2	≥ 21 кг/м^2	< 15 кг/м^2
Истощение	< 21 кг/м^2	< 16 кг/м^2	< 21 кг/м^2	< 15 кг/м^2

В работе Slinde et al. [22] выявлена обратная зависимость выживаемости больных ХОБЛ от иБМТ. Установлено, что, в отличие от МТ, ИМТ и индекса жировой массы (иЖМТ), иБМТ является независимым предиктором летальности у больных ХОБЛ. Более точной характеристикой обменных процессов по сравнению с БМТ является активная клеточная масса (АКМ) – та часть тощей массы, которая образована клетками, потребляющими основную долю кислорода и энергии, выделяющими основную часть углекислого газа и производящими метаболическую работу [23]. Величина АКМ характеризует достаточность белковой компоненты питания. Пониженные и низкие значения АКМ могут быть ассоциированы с неэффективным лечением [19].

Исследования состава тела при туберкулезе проводились в ряде стран мира с высоким уровнем заболеваемости и распространенности туберкулеза. Поперечное биоимпедансное исследование больных с впервые выявленным туберкулезом без ВИЧ-инфекции на момент начала лечения (n=249) и здоровых людей (n=416) соответствующего пола, возраста и роста в Уганде выявило существенно более низкие значения массы тела (в среднем на 8,5 кг), ИМТ (в среднем на 3,5 кг/м^2), а также активной клеточной и жировой массы в основной группе [24]. У мужчин различия массы тела объяснялись пропорциональным снижением активной клеточной и жировой массы, а у женщин – главным образом, уменьшением жировой массы тела. Наблюдаемые различия средних значений ИМТ соответствуют эпидемиологическим данным об обратной зависимости заболеваемости туберкулезом от ИМТ в странах с развитой экономикой [13]. Значимые различия показателей состава тела больных туберкулезом и здоровых людей показаны в работе [25]. Более низкие значения массы тела больных тубер-

кулезом объяснялись преимущественным снижением жировой, и в меньшей степени – тощей массы. В поперечном антропометрическом исследовании 86 больных туберкулезом легких с бактериовыделением (n=45) и без бактериовыделения (n=41) было выявлено значимое снижение средних значений массы тела, жировой массы и обхватных размеров тела в первой из указанных групп [26].

В отечественной фтизиатрии биоимпедансный анализ состава тела использовался для оценки выраженности нарушений нутритивного статуса у 40 больных туберкулезом легких, находящихся на лечении в НИИ фтизиопульмонологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова [27]. Были обследованы 26 женщин и 14 мужчин в возрасте от 22 до 70 лет, у 36 из них туберкулез выявлен впервые. Срок пребывания в стационаре составил от одной недели до 8-ми месяцев. Биоимпедансные измерения выполняли по стандартной четырехэлектродной схеме с использованием анализатора АВС-01 «Медасс» с программным обеспечением АВС01-0362 (НТЦ «Медасс», Москва). Использовали критерии диагностики нарушений нутритивного статуса по Schols et al. [20], приведенные в табл. 1. Нарушения нутритивного статуса были выявлены у 32 из 40 обследованных. Наблюдались два типа нарушений. У 21 больного имелись катаболические сдвиги в виде недоедания (4), мышечной дистрофии (2), истощения (15). У 18 – повышенное жироотложение и ожирение, из них 4 имели ожирение при нормальном весе. Диагностическая чувствительность ИМТ, по сравнению с биоимпедансометрией, при установлении нарушений нутритивного статуса для рассматриваемой группы больных составила 53%.

Исследование изменений состава тела во время стандартного 6-месячного курса химиотерапии у 30 больных туберкулезом в Великобритании показало, что наблюдаемое 10%-е увеличение массы тела произошло главным образом за счет увеличения жировой массы на фоне отсутствия значимых изменений общего содержания белка [28].

Проведенное в Сингапуре продольное рандомизированное контролируемое исследование влияния нутритивной поддержки на состав тела 19 больных туберкулезом с истощением выявило значимое увеличение безжировой массы в первые 6 недель химиотерапии по сравнению с группой контроля [29]. В последующие сроки лечения различия по БМТ отсутствовали, а дальнейший прирост массы тела объяснялся увеличением жировой массы. Полученный результат свидетельствует о возможной важной роли нутритивной поддержки для обеспечения белкового баланса на ранних сроках лечения больных туберкулезом. Проведенное там же комплексное исследование 18 впервые выявленных больных туберкулезом с истощением (из них 10 – с ВИЧ-инфекцией) позволило установить одинаковое абсолютное снижение ЖМТ и БМТ по сравнению с нормой, а наличие или отсутствие ВИЧ-инфекции не влияло на выраженность и локализацию изменений состава тела [30].

Сравнительное биоимпедансное исследование двух групп больных туберкулезом с ВИЧ-инфекцией (n=261) и без ВИЧ-инфекции (n=278) в Уганде не выявило значимых различий показателей состава тела, при этом различались средние значения фазового угла у мужчин [31]. Прогрессирование ВИЧ-инфекции на фоне отсутствия различий тощей массы сопровождалось значимым снижением активной клеточной массы и фазового угла, что является свидетельством развития метаболических нарушений.

В Южной Индии проводилось изучение нутритивного статуса и состава тела у 488 ВИЧ-инфицированных, 174 больных туберкулезом с ВИЧ-инфекцией после окончания курса лечения от туберкулеза и 160 здоровых людей [32]. Выборки больных и здоровых индивидов не отличались по возрасту (31±8 лет) и социальному статусу. Наиболее выраженные нарушения состояния питания, анемия и гипоальбуминемия наблюдались во второй группе (ТБ+ВИЧ). Аналогичные результаты были получены по данным исследования, выполненного в Уганде [24]: более низкая масса тела по сравнению с группой контроля у женщин была обусловлена различиями жировой, а у мужчин – активной клеточной массы, при этом нарушения нутритивного статуса в процессе лечения сохранялись.

Индийское пилотное рандомизированное исследование влияния нутритивной поддержки на эффективность лечения и состав тела в смешанной группе больных туберкулезом с ВИЧ-инфекцией и без нее (n=103) показало значимое увеличение массы тела в результате лечения преимущественно за счет безжировой, а не жировой массы [33]. Таким образом, отмечаемое в других работах преимущественное увеличение ЖМТ у больных туберкулезом в ходе лечения не является неизбежным. В указанном исследовании больные с дополнительной нутритивной поддержкой (n=51) получали ежедневное питание калорийностью 3660 ккал, а остальные – 2730 ккал, что примерно соответствует двум стандартным режимам диетотерапии больных туберкулезом согласно отечественным рекомендациям [3]. В случае нутритивной поддержки больные имели более низкую частоту неблагоприятных исходов.

5. Заключение. Несмотря на предпринимаемые усилия в области стандартизации методов оценки нутритивного статуса, в настоящее время отсутствуют единые общепринятые диагностические стандарты такого рода [5,7]. Актуальность решения проблемы разработки оптимальных стратегий коррекции нарушений нутритивного статуса для фтизиатрии обусловлена наличием выраженной связи состояния питания с заболеваемостью, течением и исходом туберкулеза [10,13].

Современная диагностика нарушений нутритивного статуса базируется на определении компонентного состава тела и функциональных нарушений [6,18,19]. Данные свидетельствуют о существенных отклонениях параметров состава тела у больных туберкулезом от среднепопуляционных значений [25-27] и о связи компонентного состава тела с эффективностью лечения [26,32,33]. Состояние истощения при туберкулезе ассоциировано с одновременным снижением тощей и жировой массы, причем уменьшение тощей массы более выражено в конечностях, а жировой массы – в туловище [30]. Установлена возможная важная роль нутритивной поддержки больных туберкулезом на ранних сроках лечения, обеспечивающей прирост безжировой массы и, тем самым, поддержание белкового баланса и функции иммунной системы [29]. Положительное влияние микронутритивной поддержки на иммунный статус и исход лечения даже при отсутствии изменений состава тела свидетельствует о значимости комплексной оценки нутритивного статуса у больных туберкулезом [34]. Для определения прогностической значимости параметров состава тела и уточнения роли нутритивной поддержки в системе противотуберкулезных мероприятий необходимы дальнейшие исследования.

Список литературы

[1] М.И. Перельман, И.В. Богадельникова, *Фтизиатрия*, Гэотар-Медиа, Москва (2010).
[2] М.В. Шилова, *Туберкулез в России в 2010 году*, Москва (2012).
[3] В.А. Тутельян, Б.С. Каганов, А.В. Погожева и соавт., *Диетическая терапия больных туберкулезом: методические рекомендации*, Министерство здравоохранения и социального развития РФ, Москва (2010).
[4] Webster's online dictionary, http://www.websters-online-dictionary.org/definitions/ Nutritional+Status
[5] И.Н. Лейдерман, А.Г. Николенко, О.Г. Сивков, *Нутритивная поддержка в отделении реанимации и интенсивной терапии. Стандартные алгоритмы и протоколы*, Москва (2010).
[6] L. Sobotka (ed.), *Basics in clinical nutrition, 4th ed.*, Galen, Prague (2011).
[7] K. Schindler, E. Pernicka, A. Laviano et al., *Clin. Nutr*. **29** (2010) 552.
[8] Г.О. Каминская, Р.Ю. Абдуллаев, О.Г. Комисарова, *Туберкулез и болезни легких* **4** (2011) 178.
[9] М.В. Титюхина, Ф.А. Батыров, З.Х. Корнилова, *Туберкулез и болезни легких*, **2** (2010) 49.
[10] В.А. Аксенова, М.Г. Бирон, З.Х. Корнилова и соавт., *Пульмонология* **3** (2010) 73.
[11] A. Bernabe-Ortiz, C.P. Carmano, J.F. Sanchez, J. Rios, *PloS One*, **6** (2011) e18474.
[12] E.E. Calle, M.J. Thun, J.M. Petrelli et al., *N. Engl. J. Med*. **341** (1999) 1097.

[13] K. Lönnroth, B.G. Williams, P. Cegielski, C. Dye, *Int. J. Epidemiol*. **39** (2010) 149.
[14] М.В. Коновалова и соавт., *Онкогематология* **2** (2012) 42.
[15] C.A. Russell, M. Elia, *Nutrition screening survey in the UK in 2007*, British Association of Parenteral and Enteral Nutrition (2008).
[16] S. Miyata, M. Tanaka, D. Ihaku, *Nutr. Clin. Pract*. **26** (2011) 55.
[17] D.K. Kim, H.J. Kim, S.-Y. Kwon et al., *Eur. Resp. J*. **32** (2008) 1031.
[18] C. Mueller et al., ASPEN board of directors. *J. Parent. Enteral Nutr*. **35** (2011) 16.
[19] P.B. Soeters et al., *Clin. Nutr*. **27** (2008) 706.
[20] A.M.W.J. Schols et al., *Am. J. Clin. Nutr*. **82** (2005) 53.
[21] Y. Schutz, U.U.G. Kyle, C. Picard, *Int. J. Obes*. **26** (2002) 953.
[22] F. Slinde, A. Grönberg, C.-P. Engström et al., *Resp. Med*. **99** (2005) 1004.
[23] F.D. Moore, K.H. Olesen, J.D. McMurray, J.H.V. Parker, M. Ball, *The body cell mass and its supporting environment*, Saunders, Philadelphia (1963).
[24] E. Mupere, S. Zalwango, A. Chiunda et al., *Ann. Epidemiol*. **20** (2010) 210.
[25] K. Bose, S. Jana, S. Bisai et al., *Mal. J. Nutr*. **13** (2007) 131.
[26] G. Sharma, S. Koley, J.S. Sandhu et al., *Med. J. Malaysia*. **63** (2008) 118.
[27] О.Е. Русских, Н.Е. Галыгина, Е.М. Богородская и соавт., в сб. тр. научно-практической конференции «Междисциплинарные аспекты дифференциальной диагностики и лечения больных туберкулезом», Москва (2012).
[28] A. Schwenk, L. Hodgson, A. Wright et al., *Am. J. Clin. Nutr*. **79** (2004) 1006.
[29] N.I. Paton, Y.-K. Chua, A. Earnest, C.B.E. Chee, *Am. J. Clin. Nutr*. **80** (2004) 460.
[30] N.I. Paton, Y.-M. Ng, *Nutrition* **22** (2006) 245.
[31] S. Shah, C. Whalen, D. Kotler et al., *J. Nutr*. **131** (2001) 2843.
[32] S. Swaminathan, C. Padmapriyadarsini, B. Sukumar, *Clin. Infect. Dis*. **46** (2008) 946.
[33] T.D. Sudarsanam, J. John, G. Kang et al., *Tropical Med. Int. Health*. **16** (2011) 699.
[34] E. Villamor, F. Mugusi, W. Urassa et al., *J. Infect. Dis*. **197** (2008) 1499.

СОСТОЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ г. ЧЕБОКСАРЫ И НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПО ДАННЫМ БИОИМПЕДАНСМЕТРИИ

Н. Н. Строганова[1], В. А. Козлов[2], Т. П. Смелова[1], А. А. Павлов[1]

[1] Центр здоровья БУ «Республиканская детская клиническая больница», г. Чебоксары
[2]ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары

В результате обследования в Республиканском детском центре здоровья 4648 относительно здоровых детей и подростков г. Чебоксары и некоторых районов Чувашской Республики в возрасте 5-17 лет (2438 мальчики и 2210 девочки) с помощью биоимпедансметрии выявлено нарушении метаболизма у 50% обследованных.
Ключевые слова: физическое развитие детей, биоимпеданс.

1. Введение. Физическое развитие — динамический процесс роста (увеличение длины и массы тела, развитие органов и систем организма и так далее) и биологического созревания ребёнка в определённом периоде детства [10]. Показатели физического развития связанны с физической работоспособностью и уровнем биологического состояния индивидуума в данный конкретный момент времени. Поэтому стратегически важной является задача мониторного контроля физического развития, которая ранее не могла быть решена в масштабе популяционного исследования вследствие отсутствия материальных и аппаратных возможностей.

Скрининговое обследование населения с помощью мультичастотного биоимпеданса позволяет быстро и с минимальными ресурсными затратами изучить большие группы населения. Метод мультичастотного биоимпеданса значительно расширяет клинико–лабораторную диагностическую базу, поскольку позволяет осуществить измерение физиологических параметров, ранее недоступных для измерения, но позволяющих выявить значительные отклонения состояния здоровья за пределы референтных значений, маскируемые состоянием внешнего благополучия за счет внутренних компенсаторных резервов организма. Целью исследования являлась аппаратная оценка физического развития детей разного возраста с помощью измерения биоимпеданса.

2. Материал и методика исследований. За период с января по октябрь 2011 года в условиях Центра здоровья БУ «Республиканская детская клиническая больница» обследовано 4648 относительно здоровых детей г. Чебоксары, а также Канашского, Шумерлинского, Ядринского и Яльчикского районов Чувашской Республики в возрасте от 5 до 17 лет, из них 2438 мальчиков и 2210 девочек. Из них 2419 относительно здоровых детей г. Чебоксары (1511 мальчиков и 908 девочек), 2229 детей некоторых районов Чувашской Республики (927 мальчиков и 1302 девочек).

После регистрации и внесения в протокол исследования специализированной программы антропометрических данных обследуемых детей с помощью мультичастотного анализатора биоимпеданса «АВС–01 Медасс» были получены следующие параметры: индекс массы тела (ИМТ), жировая масса (ЖМ), тощая масса (ТМ), активная клеточная масса (АКМ), доля АКМ, скелетно–мышечная масса (СММ), доля СММ, основной обмен (ОО), общая жидкость (ОЖ), внеклеточная жидкость (ВКЖ), фазовый угол. Возрастные интервалы определены согласно принятым в возрастной физиологии.

Биоимпеданс – измерение полного электрического сопротивления тканей организма, позволяющее количественно оценить различные компоненты тела: жировую и безжировую массу тела, процентное содержание жира в организме, активную клеточную массу (мышцы, органы, мозг и нервные клетки), количество внеклеточной, внутриклеточной и общей жидкости. Зная эти параметры, а также массу тела и рост обследуемого, не сложно рассчитать вторичные данные: индекс массы тела и основной обмен веществ [1], [3]. Данный метод, позволяет охарактеризовать емкостные свойства клеточных мембран и жизнеспособность биологических тканей, для чего используется такой исчисляемый показатель, как фазовый угол. Считается, что чем выше фазовый угол, тем лучше состав тканей. Низкие значения фазового угла могут указывать на хронические заболевания, связанные с катаболическим сдвигом [2], [3], [6].

Первичные данные были разделены по признакам «Норма», «Выше нормы», «Ниже нормы» и представлены в виде частот встречаемости признака. Полученные частоты были пересчитаны на 10000 населения, после чего рандомизированы методом прямой стандартизации, за стандарт принята полусумма числа обследованных. Различия между группами определены с помощью критерия χ^2.

3. Результаты исследований и их обсуждение. Показатели физического развития мальчиков г. Чебоксары приведены в таблице 1. Согласно полученным данным, дефицит массы наблюдается у 37,9 % обследованных мальчиков 5–9 лет, 17,8 % – 10–14, 33,3 % – 15 лет и 20,5 % 16–17 лет. Избыточная масса обнаружена у 11,6 % детей 5–9 лет, 17,8 % – 10–14, 33,3 % – 15–ти, 17,9 % – 16–17 лет. Практически одинаковая частота встречаемости ИМТ – по 1/3 на каждое подразделение – у пятнадцатилетних видимо является артефактом, связанным с малым числом обследованных в этой возрастной группе.

Частота встречаемости повышенной ЖМ в целом совпадает с частотой ИМТ выше нормы: 12,6 % в группе 5–9 лет, 15,1 % – 10–14, 50,0 % – 15 и 35,1 % – 16–17 лет. Частота встречаемости детей с ЖМ ниже нормы наблюдалась в 2,1–5,5 % случаев.

ТМ, к которой относится все то, что не является жиром (мышцы, все органы, мозг и нервы, кости и все жидкости организма), в норме составляет примерно 75–85 % от массы тела. Более чем у 87 % обследованных этот показатель оказался в пределах возрастной нормы. Уменьшение ТМ ниже референтного интервала наблюдалось у 5,3 % детей 5–9 лет, 12,3 % – 10–14, 12,5 % – 15 лет и 10,6 % 16–17 лет, что допустимо объясняется сниженными АКМ и СММ у мальчиков 5–9 лет и дефицитом ОЖ в остальных возрастных группах.

АКМ, представляющая собой суммарную массу мышц, органов, мозга и нервных клеток, оказалась сниженной у значительного количества обследуемых детей: 19,0 % – 5–9 лет, 24,6 % – 10–14, 37,5 % – 15 лет и 14,6 % – 16–17 лет. Процентная доля АКМ является частью участвующих в обмене веществ клеток в тощей массе. С возрастом этот показатель стремится к нормализации. Так, если у мальчиков 5–9 лет этот показатель ниже нормы наблюдался в 21,0 % и 20,6 % у 10–14-летних, то у 15-летних АКМ была снижена в 12,5 % случаев и только в 6,0 % случаев у 16–17-летних. Низкий АКМ является свидетельством пониженного питания [5]. В то же время СКМ и доля СКМ оказались в пределах референтного интервала практически у 100 % обследованных. С учетом состояния жировой ТМ и АКМ это обстоятельство может свидетельствовать о некотором дефиците массы органов и/или воды в организмах детей с дефицитом АКМ.

Таблица 1

Показатели физического развития мальчиков г. Чебоксары Чувашской Республики по данным биоимпедансметрии (на 10000 детского населения)

Показатели	Референтный интервал	5–9 лет	10–14 лет	15 лет	16–17 лет
ИМТ	Выше нормы	11	13	8	27
	Норма	48	47	8	93
	Ниже нормы	36	13	8	31
Жировая масса	Выше нормы	12	11	12	53
	Норма	81	58	11	94
	Ниже нормы	2	4	1	4
Тощая масса	Выше нормы	1	0	0	1
	Норма	89	64	21	134
	Ниже нормы	5	9	3	16
Активная клеточная масса	Выше нормы	1	0	0	2
	Норма	76	55	15	127
	Ниже нормы	18	18	9	22
Доля АКМ	Выше нормы	1	2	2	4
	Норма	74	56	19	138
	Ниже нормы	20	15	3	9
Скелетно–мышечная масса	Выше нормы	0	0	1	0
	Норма	93	73	22	150
	Ниже нормы	2	0	1	1
Доля СММ	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	95	73	24	151
	Ниже нормы	0	0	0	0
Основной обмен	Выше нормы	5	1	0	1
	Норма	73	48	14	103
	Ниже нормы	17	24	10	47
Общая жидкость	Выше нормы	7	0	2	0
	Норма	88	71	21	144
	Ниже нормы	0	2	1	7
Внеклеточная жидкость	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	95	73	24	151
	Ниже нормы	0	0	0	0
Фазовый угол	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	77	56	9	137
	Ниже нормы	18	17	15	14

У 5,3 % детей в возрасте 5–9 лет ОО оказался повышенным, тогда как в остальных возрастных группах повышенных значений практически не наблюдается. В тоже время у 17,9 %

детей 5–9 лет ОО был снижен, а с возрастом число таких мальчиков увеличивается: 32,9 % – 10–14 лет, 41,7 % – 15 и 31,1 % 16–17 лет. Снижение ОО может быть следствием нарушения тиреоидной гормональной регуляции, несмотря на проводимые в республике в целом успешные мероприятия по профилактике йодной недостаточности.

Согласно полученным значениям ОЖ и ВЖ, водный баланс у обследованных мальчиков в целом соответствует норме. Однако в группах 5–9-летних и 15-летних наблюдалось 7,4 % и 8,3 % обследованных с увеличенным показателем ОЖ соответственно. Поскольку детей с увеличением ВЖ не обнаружено, следует думать об истинном увеличении внутриклеточной жидкости.

Совершенно новый клинический показатель «фазовый угол» по–видимому, является коррелятом состояния клеточных мембран и состояния скелетных мышц, отражает уровень общей работоспособности и интенсивности обмена веществ. По величине данного показателя определяется биологический возраст (соответствие физических параметров фактическому возрасту). Кроме того, у взрослых больных низкие значения фазового угла положительно коррелируют со временем дожития, то есть, чем ниже значение фазового угла, тем меньше проживет больной от момента обследования. У молодых лиц снижение фазового угла ниже нормы свидетельствует о снижении частоты и недостаточной интенсивности физических нагрузок, а также в совокупности с показателями АКМ является маркером недостаточности питания. Для величины фазового угла определяются положительные корреляции среднего и выше среднего уровня значимости с показателями календарного, биологического возраста, массы, длины тела и низкого уровня значимости с индексом массы тела. Отрицательная взаимосвязь выше среднего уровня значимости обсуждаемого показателя зарегистрирована с относительной величиной жировой ткани [2], [3], [5], [6]. У обследованных нами мальчиков этот показатель оказался в сниженным в 19,0 % - у 5-9 летних, 23,3 % - у 10-14 летних, у 62,5 % - 15 летних и к 16-17-летнему возрасту он имеет тенденцию к нормализации и составляет 9,3 %.

Показатели физического развития девочек г. Чебоксары приведены в таблице 2. В отличие от мальчиков, возрастные группы девочек более однородны по дефициту массы тела, частота которого наблюдается в пределах 30–32 % во всех группах, кроме 10–14-летних, у которых дефицит массы встречается реже – в 24,4 % случаев. По этой причине между всеми одновозрастными группами мальчиков и девочек по ИМТ наблюдаются достоверные статистические различия: между группами 5–9-летних $p=0,001$ (χ^2), 10–14-летних $p=0,0000$, 15-летних $p=0,0236$, 16–17-летних $p=0,00155$. В целом можно сделать вывод, что у девочек 5–9 лет дефицит массы тела встречается достоверно реже, чем у одновозрастных мальчиков, а в группах 10–14 и 16–17 – значительно чаще. Группа 15-летних различается не столько частотой, сколько структурой распределения частоты встречаемости этого признака.

У девочек чаще наблюдался избыток ЖМ: 41,7 % у 5–9-летних ($p=0,0000$ по отношению к одновозрастным мальчикам), 33,3 % в группе 10–14 лет ($p=0,0000$), 27,3 % у 15-летних ($p=0,000043$) и 40,0 % у 16–17-летних ($p>0,05$). Видимо по этой причине практически не встречается избыток ТМ. В тоже время дефицит ТМ у девочек встречается более чем в два раза чаще, чем у мальчиков: 5–6 лет – 19,4 % ($p=0,0000$), 10–14 лет – 20,0 % ($p=0,0438$). В более старших возрастных группах различий не наблюдается: 15 лет – 16,0 % ($p>0,05$), 16–17 лет 12,5 % ($p>0,05$).

Аналогично, особенно в группе 5–9-летних девочек (69,5 % !, $p=0,0000$ по отношению к одновозрастным мальчикам), значительно чаще встречался дефицит АКМ: 55,5 % в группе 10–14 лет ($p=0,0000$). Между старшими группами различий не обнаружено 20,5 % - 15-летних ($p>0,05$) и 21,7 % – 16–17-летних ($p>0,05$). Аналогичны результаты и по доле АКМ, однако по этому показателю более наглядно просматривается тенденция выравнивания массы тела к моменту совершеннолетия. Дефицит доли АКМ встречается в 66,7 % у 5–9-летних

девочек (p=0,0000), в 33,3 % случаев у 10–14-летних (p=0,0176), 20,5 % – 15-летних (p=0,0000), 9,2 % 16–17-летних (p>0,05).

В отличие от мальчиков, у девочек 5–9 лет достаточно часто встречает дефицит СММ: 8,3 % (p=0,0000 по отношению к одновозрастным мальчикам). В других возрастных группах достоверных различий не обнаружено: 2,2 % 10–14 лет (p>0,05), 4,5 % 15 лет (p>0,05) и 1,7 % 16–17 лет (p=0,053). Доля СММ при этом, как и у мальчиков, находится в пределах референтного интервала.

Таблица 2

Показатели физического развития девочек г. Чебоксары Чувашской Республики по данным биоимпедансметрии (на 10000 детского населения)

Показатели	Референтный интервал	5–9 лет	10–14 лет	15 лет	16–17 лет
ИМТ	Выше нормы	10	16	11	28
	Норма	15	18	20	53
	Ниже нормы	11	11	13	39
Жировая масса	Выше нормы	15	15	12	48
	Норма	19	25	30	68
	Ниже нормы	2	5	2	4
Тощая масса	Выше нормы	1	0	0	1
	Норма	28	36	37	104
	Ниже нормы	7	9	7	15
Активная клеточная масса	Выше нормы	0	0	0	2
	Норма	11	20	35	92
	Ниже нормы	25	25	9	26
Доля АКМ	Выше нормы	1	1	1	3
	Норма	12	29	34	106
	Ниже нормы	24	15	9	11
Скелетно–мышечная масса	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	33	44	42	118
	Ниже нормы	3	1	2	2
Доля СММ	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	35	45	44	119
	Ниже нормы	1	0	0	1
Основной обмен	Выше нормы	4	1	0	0
	Норма	15	20	23	69
	Ниже нормы	17	24	21	51
Общая жидкость	Выше нормы	5	0	0	0
	Норма	31	42	43	111
	Ниже нормы	0	3	1	9
Внеклеточная жидкость	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	36	45	44	120
	Ниже нормы	0	0	0	0
Фазовый угол	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	14	28	17	103
	Ниже нормы	22	17	27	17

Аналогично мальчикам, у девочек аномально часто регистрировалось снижение ОО, причем у девочек чаще, чем у мальчиков: в 47,2 % случаев у 5–9-летних (p=0,0000 по отношению к одновозрастным мальчикам), 53,3 % – 10–14-летних (p=0,000034), 47,7 % – 15-летних (p>0,05), 42,5 % – 16–17-летних (p=0,0521).

Как и у мальчиков, у девочек 5–9 лет наблюдается заметно большое число лиц с увеличенным содержанием ОЖ – 13,9 %, что почти в два раза больше, чем у мальчиков (p=0,040669). В то же время встречаются дети с дефицитом ОЖ в группе 10–14 лет 6,7 % (p=0,03045) и 16–17 лет – 7,5 % (p>0,05). Содержание ВЖ не выходило за пределы референтных значений ни в одной из обследованных групп, это позволяет предположить, что вышеописанные нарушения обусловлены изменением содержания внутриклеточной жидкости.

Как и у мальчиков, у всех обследованных девочек отмечается низкий уровень фазового угла, что говорит о несоответствии состояния клеток и клеточных мембран в целом возраст-

ной норме, но с возрастом он достигает уровня нормальных значений. В возрасте 5-9 лет он составляет 61,1 %, в 10-14 лет – 37,8 %, в 15 лет – 61,4 %, в 16-17 лет – 14,2 %.

Показатели физического развития мальчиков некоторых районов Чувашской Республики показаны в таблице 3. Согласно полученным данным, только от 42 до 57 % мальчиков имеют соответствующую возрасту массу тела (согласно показателю ИМТ). Дефицит массы тела наблюдается у 40,0 % мальчиков 5–9 лет, 19,7 % – 10–14 лет, 19,0 % – 15-летних, 27,4 % – 16–17 лет. В то же время наблюдается избыток массы у 10,0 %, 29,5 %, 23,9 % и 30,5 % процентов обследованных соответствующих возрастных групп.

Таблица 3

Показатели физического развития мальчиков некоторых районов Чувашской Республики по данным биоимпедансметрии (на 10000 детского населения)

Показатели	Референтный интервал	5–9 лет	10–14 лет	15 лет	16–17 лет
ИМТ	Выше нормы	3	18	15	29
	Норма	15	31	36	40
	Ниже нормы	12	12	12	26
Жировая масса	Выше нормы	5	12	24	45
	Норма	24	44	31	49
	Ниже нормы	1	5	8	1
Тощая масса	Выше нормы	0	0	0	1
	Норма	27	55	53	85
	Ниже нормы	3	5	11	9
Активная клеточная масса	Выше нормы	0	0	0	1
	Норма	20	48	49	81
	Ниже нормы	10	13	14	13
Доля АКМ	Выше нормы	0	2	5	8
	Норма	18	47	48	82
	Ниже нормы	12	13	10	5
Скелетно–мышечная масса	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	29	61	62	94
	Ниже нормы	1	0	1	1
Доля СММ	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	30	61	63	95
	Ниже нормы	0	0	0	0
Основной обмен	Выше нормы	4	2	0	1
	Норма	19	37	35	41
	Ниже нормы	7	22	28	53
Общая жидкость	Выше нормы	3	0	0	0
	Норма	27	59	59	90
	Ниже нормы	0	2	4	5
Внеклеточная жидкость	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	30	61	63	95
	Ниже нормы	0	0	0	0
Фазовый угол	Выше нормы	0	0	0	1
	Норма	19	48	50	87
	Ниже нормы	11	13	13	6

Примечательно, что дефицит ЖМ практически не встречается, он обнаружен только у 3,0 % детей 5–9 лет, 8,2 – 10–14 лет, 12,7 – 15 лет и 1,0 % 16–17-летних. Тогда как избыток ЖМ достаточно частое явление и нарастает с возрастом: 17 % – 5–9 лет, 19,7 – 10–14 лет, 38,1 % – 15 лет и 47,4 % – 16–17 лет.

Практически не встречается мальчиков с избытком ТМ, тогда как дефицит наблюдается у 10,0 % мальчиков 5–9 лет, 8,2 % – 10–14 лет, 17,5 – 15 лет и 9,5 – 16–17 лет. Но в целом у обследованных – от 84 до 90 % – этот показатель находится в пределах референтного интервала. Аналогичны результаты определения АКМ. Дефицит АКМ наблюдается у 30,0 % 5–9-летних детей, 21,3 % детей 10–14 лет, 22,2 % – 15 лет, 13,7 % – 16–17 лет. При этом практически не наблюдается лиц с избытком АКМ – 1,0 % среди 16–17-летних. Число же обследо-

ванных с повышенной процентной долей АКМ с возрастом увеличивается: 0,0 % среди 5–9-летних детей, 3,3 % – 10–14 лет, 7,9 % – 15 лет, 8,4 % – 16–17 лет. Тогда как число обследованных с уменьшенной процентной долей АКМ уменьшается: 40,0 % 5–9 лет, 19,7 % – 10–14 лет, 15,9 % – 15 лет, 5,3 – 16–17 лет. Дефицит АКМ в сочетании с высокой процентной долей АКМ может быть следствием хронического недоедания, а выявленное восстановление этих показателей с возрастом можно объяснить возрастным снижением физиологической потребности в пище. При этом среди обследованных практически не оказалось детей с дефицитом СММ и процентной доли СММ.

Число обследованный детей с пониженным ОО оказалось высоким и увеличивалось с возрастом: 23,4 % среди 5–9-летних, 36,0 % – 10–14-летних, 44,4 % – 15-летних, 55,8 % – 16–17-летних. Значительное количество детей с повышенным ОО наблюдалось в группе 5–9-летних – 13,3 %.

Показатели, характеризующие содержание жидкости в организме находятся в пределах референтных значений у всех обследованных детей.

Фазовый угол – показатель, отражающий состояние клеточных мембран и клеток – оказался уменьшенным у 36,7 % 5–9-летних мальчиков, 21,3 % 10–14-летних, 20,6 – 15-летних и 7,4 % 16–17-летних. Практически не встречалось лиц, у кого этот показатель был бы выше референтного интервала.

Показатели физического развития девочек некоторых районов Чувашской Республики показаны в таблице 4. Дефицит массы тела наблюдается у 33,4 % девочек 5–9 лет, 21,3 % – 10–14 лет, 28,7 % – 15 лет, 19,9 % – 16–17 лет. Избыток массы обнаружен у 13,3 %, 20,0 %, 18,3 % и 15,2 % процентов обследованных девочек соответствующих возрастных групп. Эти процентные соотношения близки к наблюдаемым у мальчиков – не наблюдается достоверных различий между группами 5–9 и 10–14-летних мальчиков и девочек. В то же время группы 15 и 16–17-летних различаются (критерий χ^2, p=0,013383 и p=0,00001 соответственно). Различия обусловлены тем, что в группе 15-летних процент девочек с дефицитом массы значительно больше, чем мальчиков, а в группе 16–17-летних отношения обратные.

У 13,3 % девочек 5–9 лет ЖМ оказалась выше референтных значений, с возрастом число таких девочек увеличивалось: 17,3 % –10–14 лет, 19,1 % – 15 лет, 30,4 % – 16–17 лет. В то же время число девочек с дефицитом жировой массы оказалось незначительным и уменьшалось с возрастом: 6,7 % – 5–9 лет, 10,7 % – 10–14 лет, 7,8 % – 15 лет и 1,8 % – 16–17 лет. Между группами мальчиков и девочек 5–9 лет и 10–14 лет различий по этому показателю не наблюдается. Различия между 15–летними обусловлены тем, что мальчиков с избыточной ЖМ практически в два раза больше, чем девочек. В группе 16–17-летних мальчиков с избыточной ЖМ также значительно больше, чем девочек.

Среди обследованных девочек практически не встречалось лиц с избытком ТМ. Дефицит ТМ наблюдался у 13,3 % девочек 5–9 лет, 10,7 – 10–14 лет, 10,4 – 15 лет и 9,9 % –16–17 лет. Различий между одновозрастными мальчиками и девочками по этому показателю не наблюдается.

Среди 5–9-летних девочек оказался высокий процент лиц со сниженной АКМ – 40,0 %. С возрастом доля таких девочек уменьшалась: 24,0 % в группе 10–14-летних, 14,8 % – 15-летних, 8,2 % – 16–17-летних. Различий между мальчиками и девочками одновозрастных групп по этому показателю не обнаружено. Распределение девочек по процентной доле АКМ аналогично (снижено): 43,3 % – 5–9 лет, 21,4 – 10–14 лет, 9,6 – 15 лет и 5,3 % – 16–17 лет. Не наблюдается различий между мальчиками и девочками 5–9 и 10–14 лет. Число 15-летних девочек с уменьшенной процентной долей АКМ в 1,5 раза ниже, чем мальчиков (p=0,000183), тогда как доля мальчиков 16–17 лет, у которых этот показатель выше нормы, в 1,5 раза больше, чем одновозрастных девочек (p=0,000163).

Только у 5–9-летних девочек СММ оказался ниже референтных значений – 6,7 % обследованных. В остальных возрастных группах СММ, как и процентная доля СММ – во всех

группах, оказались в пределах возрастных норм практически у всех обследованных. Различий между одновозрастными мальчиками и девочками по этим показателям не обнаружено.

Обнаружены низкие значения ОО у 23,3 % девочек 5–9 лет, 46,6 – 10–14 лет, 47,0 – 15 лет, 35,1 % – 16–17лет. Повышение ОО наблюдается у 6,7 % детей 5–9 лет и 2,7 % – 10–14 лет. Между одновозрастными группами мальчиков и девочек наблюдаются различия частот встречаемости нарушений величин ОО: 5–7 лет (p=0,040389) – девочек с увеличенным ОО в два раза меньше, чем мальчиков, и 16–17 лет (p=0,000007) – девочек с пониженным ОО было в 1,6 раз меньше, чем мальчиков. Как и у мальчиков, в группе девочек 5–9 лет достаточно часто регистрировались лица с повышенным количеством ОЖ – 10,0 %, тогда как в остальных группах встречалось незначительное количество девочек, у кого это показатель был снижен: 4,0 % 10–14 лет, 5,2 – 15 лет, 4,1 % – 16–17 лет. Различий между одновозрастными группами мальчиков и девочек по этому показателю не обнаружено. Содержание ВЖ у всех обследованных девочек оказалось в пределах референтных значений.

Таблица 4

Показатели физического развития девочек некоторых районов Чувашской Республики по данным биоимпедансметрии (на 10000 детского населения)

Показатели	Референтный интервал	5–9 лет	10–14 лет	15 лет	16–17 лет
ИМТ	Выше нормы	4	15	21	26
	Норма	16	44	61	111
	Ниже нормы	10	16	33	34
Жировая масса	Выше нормы	4	13	22	52
	Норма	24	54	84	116
	Ниже нормы	2	8	9	3
Тощая масса	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	26	67	103	154
	Ниже нормы	4	8	12	17
Активная клеточная масса	Выше нормы	0	0	0	1
	Норма	18	57	98	156
	Ниже нормы	12	18	17	14
Доля АКМ	Выше нормы	0	1	3	4
	Норма	17	58	101	158
	Ниже нормы	13	16	11	9
Скелетно–мышечная масса	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	28	74	114	170
	Ниже нормы	2	0	1	1
Доля СММ	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	30	74	115	171
	Ниже нормы	0	0	0	0
Основной обмен	Выше нормы	2	2	0	1
	Норма	21	38	61	110
	Ниже нормы	7	35	54	60
Общая жидкость	Выше нормы	3	0	0	0
	Норма	27	72	109	164
	Ниже нормы	0	3	6	7
Внеклеточная жидкость	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	30	75	115	171
	Ниже нормы	0	0	0	0
Фазовый угол	Выше нормы	0	0	0	0
	Норма	16	59	102	162
	Ниже нормы	14	16	13	9

Структура распределения девочек по фазовому углу в целом близка к таковой у мальчиков. Этот показатель был снижен у 46,7 % девочек 5–9 лет, 21,3 – 10–14 лет, 11,3 – 15 лет, 5,3 % – 16–17 лет. Однако мальчиков 15–ти лет, у которых этот показатель снижен, в два раза больше, чем 15-летних девочек (p=0,13929). Как и у мальчиков, у девочек наблюдается сильная корреляционная связь между фазовым углом и ИМТ (r=0,95), ТМ (r=0,98), АКМ

(r=0,99) и процентной долей АКМ (r=0,98). Полученные результаты, с точки зрения физиологии человека, могут быть объяснены хроническим дефицитом питания, такой вывод хорошо согласуется с ранее полученными данными исследования суточных пищевых рационов детского и взрослого населения городов и районов Чувашской Республики [4], [7], [8], [9].

Сравнительная характеристика мальчиков по Чувашской Республике в целом показывает, что основная масса мальчиков города к 16-17 годам имеет нормальные показатели ИМТ (61,6 %) и ЖМ (62,3 %). У 62,5 % мальчиков города в возрасте 15 лет наблюдается снижение ФУ, а к 16-17 годам этот показатель нормализуется (90,7 %). У мальчиков сельской местности выявлено увеличение ИМТ (30,5 %) и ЖМ (47,4 %) к 16-17- летнему возрасту, при снижении показателей ОО до 55,8 % и нормализации ФУ (91,6 %). Это свидетельствует о том, что нарушение метаболизма у сельских мальчиков встречается в 2 раза чаще, чем у городских. Пониженный фазовый угол также косвенно свидетельствует о снижении обмена веществ, кроме того, поскольку фазовый угол отражает соответствие физических параметров фактическому возрасту [1], [2], [3], [5], [6], можно сделать вывод, что у значительного числа обследованных в возрасте 15 лет биологический возраст оказался больше календарного. Наибольший процент выявленных отклонений у мальчиков в возрасте 15 лет - видимо являются артефактом, связанным с малым числом обследованных в этой возрастной группе.

Среди девочек показатели наиболее стабильные. В возрасте до 14 лет девочек села и города наблюдается низкий ИМТ (33,4 % и 30,5 % соответственно) за счет снижения ТМ, в том числе АКМ и СММ. К 17 годам наблюдается увеличение количества девочек города с низким ИМТ (32,5 %), а количество сельских девочек с низким ИМТ уменьшается (19,9 %). Избыток жировой массы с возрастом увеличивается как у сельских девочек так и у городских, и находится на уровне 30,4 % и 40,0 % соответственно, при этом количество детей с дефицитом жировой массы с возрастом уменьшается. ФУ у девочек села (94,7 %) и города (85,8 %) к 16-17 годам имеет тенденцию к нормализации (нормальные показатели ФУ в 5-9 лет имеют - 53,3 % и 38,9 % соответственно). При обследовании детей выявлены низкие показатели ОО от 23,3 % до 55,8 % во всех возрастных группах. Возможно это обусловлено уменьшением активности клеток, замедлением обмена веществ, снижение мышечного тонуса, а также уменьшенной массой печени, мозга, сердца, почек — органов, где обмен веществ и расход энергии происходят наиболее интенсивно [3].

4. Резюме. Обнаруженные отклонения состава тела обследованных детей от референтных значений, очевидно, объяснимы дефицитом питания, что ранее было показано, в частности, работами Е. А. Хохловой, изучавшей качественно–количественный состав суточных рационов питания. Согласно данным Е. А. Хохловой, у детей 9–11 лет потребление общих белков снижено на 12 % у мальчиков и на 5 % у девочек по сравнению с рекомендациями МЗ РФ (1991) и составляет 76,3±2,26 г/сут. и 82,6±2,79 г/сут. соответственно. Аналогичная картина обнаружена у детей 5–6 лет [4], [7], [8], [9]. Как можно заметить, наши данные в целом корреспондируют с данными прямого исследования суточных рационов питания, но расширяют представления о том, как привычный суточный рацион может влиять на состав тела человека.

Кроме того, из наших данных очевидным образом следует вывод о физиологически неблагополучном состоянии почти половины обследованных девочек и трети мальчиков, считающихся практически здоровыми, но имеющими сниженный ОО. При этом наблюдаются выраженные гендерные различия частоты встречаемости отдельных показателей, свидетельствующих о нарушении метаболизма.

Как известно, активность ОО сильно зависит от пищевых факторов. ОО может быть снижен как при дефиците питания, так и избыточном питании. Влияет и качественный состав диет, в условиях преимущественного потребления белка ОО повышается, а при углеводной диете – понижается. Из полученных данных следует вывод о необходимости разработки и внедрения долгосрочных медико-социальных мероприятий, направленных на формирование нового пищевого поведения населения.

Список литературы

1. *Мартиросов Э. Г.* Технологии и методы определения состава тела человека / Э. Г. Мартиросов, Д. В. Николаев, С. Г. Руднев. – М.: Наука, 2006. – 248 с.
2. *Николаев Д. В.* Исследование величины фазового угла как метод увеличения эффективности биоимпедансного анализа состава тела / Д. В. Николаев [и соавт.] Материалы Второй международной научной школы «Наука и инновации – 2007» / под ред. И. И. Попова и др. – Йошкар–Ола: МарГУ, 2007. – С. 104–113.
3. *Николаев Д. В.* Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. – М.: Наука, 2009. – 392 с.
4. *Новые* методологические подходы к изучению фактического питания населения при проведении социально–гигиенического мониторинга в Чувашской Республике : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Территориальное управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Чувашской Республике – Чувашия; под ред. Е. А. Хохловой. – Чебоксары, 2006. – 12 с.
5. *Прусов П. К.* Взаимосвязи показателей биоимпеданса с физическим развитием и работоспособностью у юных спортсменов / П. К. Прусов, Ю. В. Коробейник, Н. С. Айрапетова // Матер. I Всероссийского конгресса «Медицина для спорта». – М., 2011. – С. 354–358.
6. *Руднев С. Г.* Возрастная динамика фазового угла как индикатор функционального состояния организма (по данным одночастотного биоимпедансного анализа) / С. Г. Руднев [и соавт.] Материалы Второй международной научной школы «Наука и инновации – 2007» / под ред. И. И. Попова и др. – Йошкар–Ола: МарГУ, 2007. – С. 113–117.
7. *Хохлова Е. А.* Фактическое питание детей 5–6 лет из организованных дошкольных коллективов Чувашской Республики / Е. А. Хохлова, Е. Ф. Работаев, Л. М. Исаева и соавт. // Нижегородский медицинский журнал. Здравоохранение Приволжского федерального округа. – 2005. – № 2. – С. 32–37.
8. *Хохлова Е. А.* Новые подходы к мониторингу характера питания детей дошкольного возраста, посещающих детские образовательные дошкольные учреждения / Е. А. Хохлова, Е. Ф. Работаев, Н. И. Исаев // Науч.–практ. журн. Союза педиатров России «Вопросы современной педиатрии». – 2006, Т. 5. – №1. – С. 792–793.
9. *Хохлова Е. А.* Оценка фактического питания детей 11–12 лет с использованием собственной базы данных по содержанию витаминов в продуктах местного производства / Е. А. Хохлова, Е. Ф. Работаев, Н. И. Исаев // Вопросы детской диетологии. – 2006. – Т. 4. – № 2. – С. 38–41.
10. *Мазурин А. В.* Пропедевдика детских болезней. учеб. для студентов педиатрич. фак-тов мед. ин-тов. /А. В. Мазурин, И. М. Воронцов – М.: Медицина – 1986.

УДК 316.334.37

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕН В ОБЩЕСТВЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ СКРИНИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К. Ю. Тенюкова, В. В. Тенюков
Центр здоровья, МУЗ «Городская больница №5»,
428034, г. Чебоксары, ул. Университетская д. 24,
e-mail: vanifa52@mail.ru

Проанализированы скрининговые исследования (компьютерная экспресс-оценка состояния сердца «Кардиовизор» и спирометрия, биоимпедансметрия состава тела, содержание липидов и сахара в крови и др.) 2000 человек (мужчин (31,49 %) и женщин (68,5 %) старше 18 лет), спонтанно обратившихся в Центр здоровья, населения рожденного в периоды социально-экономических изменений в стране (с 1941-1950 г.г. «дети войны», с

1981-1991 г.г. «дети перестройки»), у которых зарегистрированы большее количество изменений в сердце, в сосудах, в органах дыхания и в обмене, по сравнению с другими возрастами. Результаты исследований свидетельствуют о влиянии социально-экономических изменений в государстве на организм населения.
Using screening methods (bioimpedansmetria the maintenance lipids and sugar in blood, etc.) surveyed more than 2000 persons (men and women is more senior 18 years) and revealed changesin cardiovascular system, vessels, presence of adiposity and early infringements of a metabolism at many patients. Analyses permit to detect the state of health of the population and to predict sickness rate. Activity of the Center of health has a preventive orientation, plays large role in formation of a balanced diet, atherosclerosis preventive maintenance, changes outlook of people on formation of a healthy way of life.

1. Введение. В ушедшем 20-ом столетии и в последние десятилетия в России можно выделить несколько периодов спада жизненного уровня населения связанных с войной и большими социально-экономическими преобразованиями в государстве, которые в той или иной мере влияли на здоровье населения. Для ныне живущих людей актуальны, годы Великой Отечественной Войны и послевоенного восстановления хозяйства страны 1941-1950 гг. «дети войны» и годы перестройки, связанные с социально-экономическими изменениями, начиная с авганистанских событий 1981-1995 гг. «дети перестройки». В эти периоды жизни население страны испытывало влияние всех негативных факторов (эмоциональные, стрессовые, психические, материальные, социальные, алиментарные и многие др.) этих периодов влияющих на основные жизненно важные системы организма.

Цель исследования. Проанализировать результаты скринингового обследования в Центре здоровья городской больницы населения рожденного в периоды социально-экономических изменений в стране, это с 1941-1950 гг. «детей войны» и с 1981-1991 гг. «детей перестройки».

2. Материал и методы исследования. Было обследовано более 2000 человек (мужчин 630 (31,49%) и 1370 женщин (68,5%) старше 18 лет) в Центре здоровья. Все участники были разделены на возрастные группы (от 18 лет до 29, от 30 до 39, от 40 до 49, от 50 до 59, от 60 до 69, от 70 до 80 лет). Согласно Постановления Правительства РФ от 18.05.2009№ 413[4], Приказа МЗСРРФ от 19.08.09 №597н [5], в МУЗ «Городская больница №5» г. Чебоксары организована работа Центра здоровья с перечнем оборудования. Были использованы следующие методы исследований: 1. Система скрининга сердца компьютеризированная (экспресс-оценка состояния сердца по ЭКГ – сигналам от конечностей) «Кардиовизор»; 2. Биоимпедансметрия для анализа внутренних сред организма (процентное соотношение воды, мышечной и жировой ткани) с программным обеспечением АВС-01 «Медасс»; 3. Компьтеризированная спирометрия с программой Spida 5; 4. Система ангиологического скрининга с автоматическим измерением систолического артериального давления и расчета плече-лодыжечного индекса (Smartdop 30 EX – двунаправленный допплер-анализатор); 5. Определение показателей липидограммы крови (холестерин, триглицериды, в-липопротеиды, липопротеиды очень низкой плотности (ЛПОНП), липопротеиды низкой плотности (ЛПНП) – колориметрическим методом, количественное определение концентраций аполипопротеинов А и В, высокочувствительного С-реактивного белка – турбидиметрическим и нефелометрическим методом с наборами «АПО А1-ВИТАЛ», «АПО В100-ВИТАЛ»; 6. Экспресс-анализатор для определения общего холестерина и глюкозы в крови «МикроБиАн»; 7. Метод факторного анализа с математическим ожиданием и рандомизация данных с помощью метода прямой стандартизации [1, 2, 3, 6, 7].

3. Результаты и их обсуждение. Результаты комплексного скринингового обследования свидетельствуют о преобладании изменений в сердечно-сосудистой системе, органах дыхания и в обменных процессах пациентов, причем выявленные отклонения от нормы в разных возрастных группах определяются по-разному, что возможно связано с определенным питанием, образом жизни и вредными привычками населения.

Поведение математического ожидания М при обработке данных методом факторного анализа показывает, что с возрастом у населения состояние сердца в целом ухудшается от нормы x_6=0 до признаков гипоксии x_7=0,18, увеличивается величина доверительного интерва-

ла, где с надёжностью 95% будут находиться результаты скрининга сердца отдельного человека. Изменения в основном определяются в возрастных группах от 40 до 49 лет и от 50 до 59 лет. Чаще всего выявляются «признаки гипоксии», «признаки перегрузки или гипертрофии левого желудочка» и «признаки ишемии», другие изменения реже. Поведение доверительного интервала указывает также на то, что состояние миокарда в возрастной группе от 30 до 39 лет несколько лучше, чем у молодых людей от 18 до 29 лет («дети перестройки») (рис. 1).

Рандомизация данных с помощью метода прямой стандартизации результатов компьютеризированного скрининга миокарда соответствует полученной информации методом факторного анализа с расчетом математического ожидания. При этом отчетливо выделяется возрастная группа людей, рожденных с 1941 по 1950 год – («дети войны»), у которых выявлено большее количество изменений в миокарде, по сравнению с другими возрастными группами (табл. 1).

Рис. 1. Результаты анализа скрининга состояния миокарда

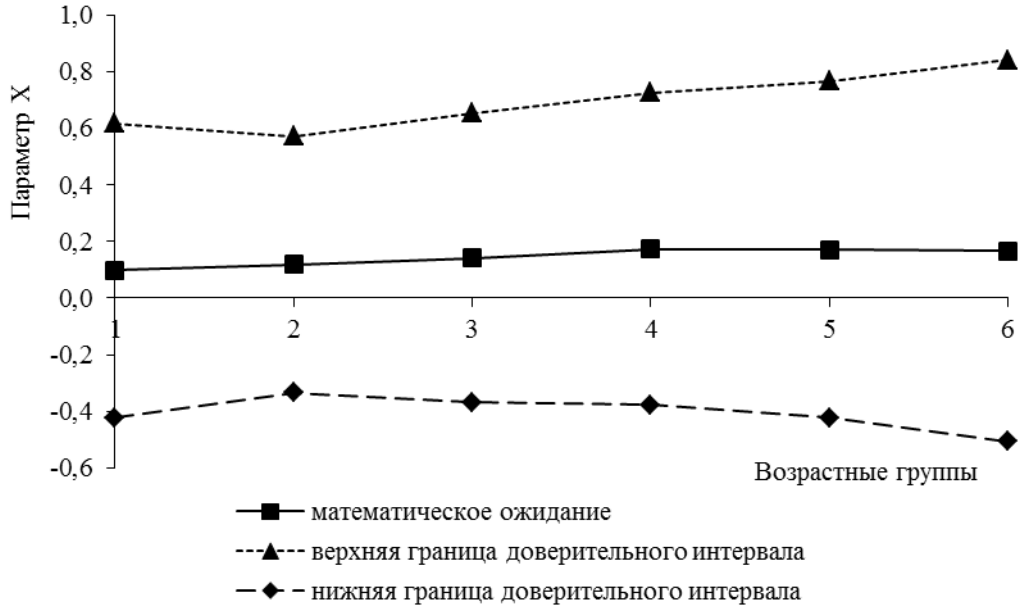


Таблица 1

Результаты компьютеризированного скрининга миокарда, рандомизированные данные

	18-29 (1981-1992)	30-39 (1971-1980)	40-49 (1961-1970)	50-59 (1951-1960)	60-69 (1941-1950)	70-80 (1931-1941)	Всего
Норма	252	213 p=0,1878	188 **p=0,0219**	177 **p=0,006**	127 **p=0,0000**	152 **p=0,0001**	1108
Признаки гипоксии	58	83 p=0,0696	103 **p=0,002**	107 **p=0,0009**	142 **p=0,0000**	113 **p=0,0003**	607
Признаки ишемии	10	24 **p=0,0304**	30 **p=0,0037**	36 **p=0,0004**	52 **p=0,0000**	56 **p=0,0000**	210
Σ	321	321	321	321	321	321	1925
Норма	216	197 **p=0,014**	182 **p=0,0024**	195 **p=0,013**	160 **p=0,0001**	166 **p=0,0002**	1115
Признаки перегрузки или гипертрофии ЛЖ	38	58 p=0,0781	73 **p=0,0036**	59 p=0,0652	94 **p=0,0000**	89 **p=0,0001**	370
Σ	254	254	254	254	254	254	1526

При изучении функции внешнего дыхания с помощью компьютеризированной спирометрии были установлены в основном изменения в виде легкой рестрикции у молодых людей (от 18 до 29 лет), что в совокупности со средней и тяжелой рестрикцией превышает в этой группе количество лиц с нормальными показателями спирометрии, и эти изменения убывают с увеличением возраста. В возрастной группе (от 30 до 39 лет) в основном преобладают лю-

ди с нормальными показателями, в половине от нормы пациенты с легкой рестрикцией и значительно меньше людей со средней рестрикцией. В этой группе появляются единичные пациенты с умеренно тяжелой, тяжелой рестрикцией и легкой обструкцией легких. В возрастной группе (от 40 до 49 лет) также идет преобладание с нормальными показателями компьютерной спирометрии, количество пациентов с легкой рестрикцией значительно меньше, еще меньше со средней рестрикцией, и совсем мало встречаются люди с показателями с умеренно тяжелой и тяжелой рестрикцией и легкой обструкцией. В группе (от 50 до 59 лет) картина примерно та же, преобладают люди с нормальными показателями спирометрии, затем мало, но есть пациенты с легкой рестрикцией, еще меньше со средней рестрикцией и единичные с более выраженной рестрикцией (умеренной и тяжелой рестрикцией) и обструкцией (легкой и средней). В возрастной группе от 60 до 69 лет, а также от 70 до 80 лет наблюдается уменьшение количества рестриктивных проявлений. Такие проявления возможно объясняются детринированностью органов дыхания лиц более молодого возраста.

Состояние «норма» соответствует значению y_5=0,5. Поведение математического ожидания М показывает, что в целом ближе всех к норме люди из возрастных групп (40 – 49) и (50 – 59). Дальше всех от нормы и ближе к состоянию y_4=0,17 (легкая рестрикция) молодые люди возраста (18 – 29). Величина доверительного интервала показывает, что меньше всего отклонений о нормы у людей возрастной группы (50 – 59). С годами в возрасте (60 – 69) и (70 – 80) состояние легких в целом ухудшается в сторону «легкая рестрикция». При этом также увеличивается количество случаев отклонения от нормы (Рис. 2).

Рандомизация данных с помощью метода прямой стандартизации, при изучении частоты встречаемости рестрикции (Табл. 2) за стандарт, согласно числу возрастных интервалов (6), была принята 1/6 от числа всех обследованных больных, что в каждом возрастном интервале, после приведения расчетных данных до ближайшего целого так, чтобы в каждом интервале было бы по 247 обследованных (Таблице №2), а общая сумма обследованных оказывалась кратна шести. Таким образом, задача стандартизации сводится к вычислению теоретического числа обследованных в каждом возрастном интервале, при условии, что мы обследовали бы равное количество лиц в каждой группе из 1482 человек.

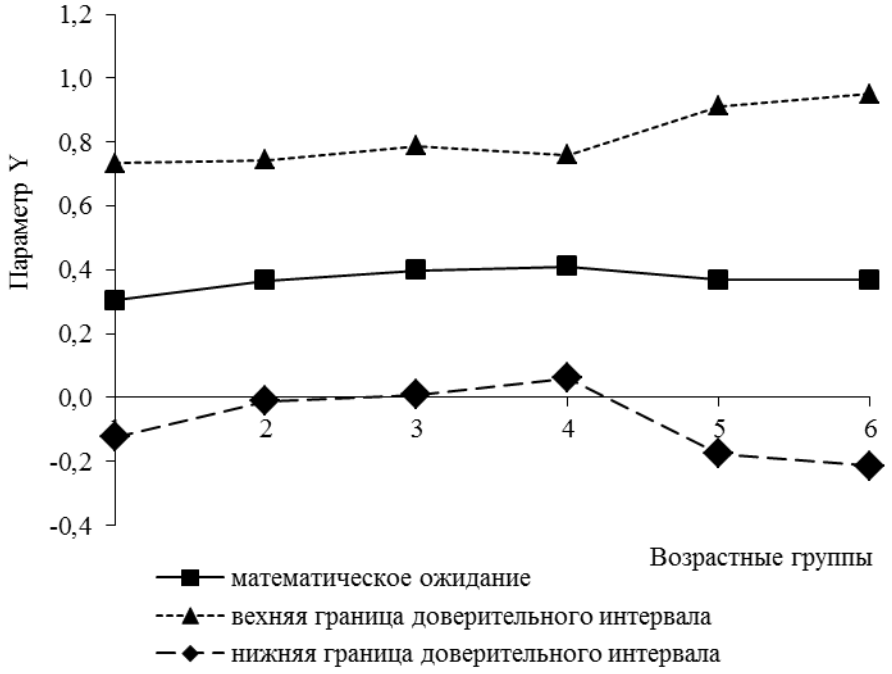


Рис. 2. Результаты спирометрии

В результате проведенной рандомизации наблюдаем, что число здоровых по данному показателю лиц с возрастом непрерывно увеличивается. Только в интервале (от 60 до

69 лет – лица, родившиеся в период с 1940 по 1951 гг. – «дети войны») наблюдается провал численности здоровых лиц. Именно в этой группе обследованных обнаруживается количество индивидуумов с тяжелой обструкцией, причем их число достоверно больше, чем в следующей возрастной группе (от 71 до 80 лет), тест χ^2 p=0,0442.

Анализ состава тела с помощью биоимпедансметрии позволил установить, что у большей части обследованных выявляется избыточный вес и ожирение 1 степени, возрастающих с увеличением возраста. Нормальный вес, фитнес-стандарт и истощение наблюдаются чаще в молодом возрасте. По данным биоимпедансметрии выделяют: норму, фитнес-стандарт, истощение, избыточный вес, ожирение 1 степени, ожирение 2 степени, ожирение 3 степени. Показатели в норме наблюдаются только у одной трети обследованных пациентов Центра (норма у 25,25%, фитнес-стандарт у 11,25%), в основном преобладают пациенты с избыточным весом (33,2%) и ожирением 1 степени (19,85%), меньше – 2 степени (4,4%), и еще меньше – с ожирением 3 степени (1,25%). Пациенты с избыточным весом и ожирением 1 степени определяются уже в группе от 18 до 29 лет, в следующих группах их количество увеличивается, достигает максимума в группе от 50 до 59 лет, а затем идет снижение. Количество лиц с ожирением 2 и 3 степени возрастает в группах от 40 и выше. Истощение наблюдается в группах от 18 до 29 лет и от 30 до 39 лет, далее единичные случаи. Изучение данных биоимпедансметрии методом факторного анализа с математическим ожиданием показало (Рис. 3), что состояние «норма» по весу соответствует значению z_2=-0,5.

Таблица 2

Частоты дыхательной рестрикции у обследованных лиц, рандомизированные данные

Возрастные интервалы		18-29 (1981-1992)	30-39 (1971-1980)	40-49 (1961-1970)	50-59 (1951-1960)	60-69 (1941-1950)	70-80 (1931-1939)	Всего
Норма		115	152 p=0,08	184 **p=0,002**	187 **p=0,0014**	135 p=0,34	206 **p=0,0001**	979
Рестрикция:	легкая	110	80 p=0,0774	49 **p=0,0000**	48 **p=0,0000**	68 **p=0,0089**	16 **p=0,0000**	371
	средняя	19	11 p=0,2186	10 p=0,1517	8 p=0,0623	18 p=0,9905	10 p=0,1517	76
	умеренно тяжелая	3	3 p=1,0	2 p=0,6213	3 p=1,0	3 p=1,0	5 p=0,7301	19
	тяжелая	0	1 p=0,9984	2 p=0,4822	1 p=0,9984	23 **p=0,0000**	10 **p=0,0049**	37
Σ		247	247	247	247	247	247	1482

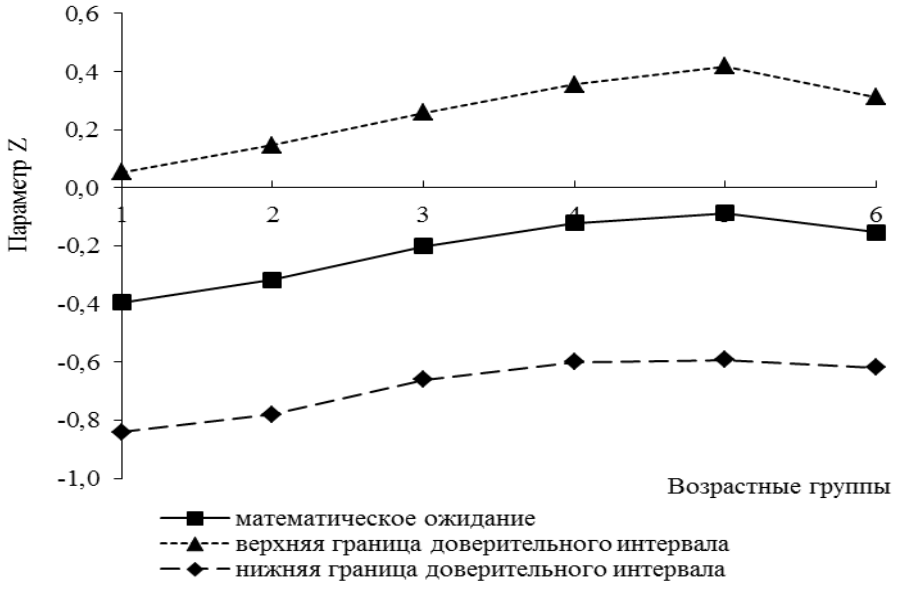


Рис. 3. Результаты анализа состава тела методом биоимпедансметрии

Ближе всех к норме молодые люди в возрасте (от 18 до 29 лет). Поведение математического ожидания M показывает, что с возрастом отклонение от нормы в целом увеличивается в сторону состояния z_3= -0,17 (избыточный вес). Величина отклонения от математического ожидания (т.е. ве-

личина доверительного интервала) во всех возрастных группах примерно одинаковая, но характер разный. Если в молодом возрасте (от 18 до 29 лет) это отклонения в пределах «истощение» – «избыточный вес», то в возрасте (от 60 до 69 лет) в пределах «норма» – «ожирение 1 или 2 степени». Экспресс метод определения сахара в крови показал, что проявления единичных случаев гипергликемии у обследуемых наблюдаются в основном с увеличением возраста. По содержанию сахара в крови (Рис. 4) состояние «норма» соответствует значениям результатов анализа из интервала (3,3; 5,5). В ходе преобразований, проделанных в расчетах, он сводится к интервалу (-0,33; +0,33). Для большинства людей содержание сахара в крови остается в пределах нормы. Однако, поведение математического ожидания М показывает, что в целом содержание сахара в крови с годами неуклонно растет. При этом увеличивается величина доверительного интервала, т.е. число различных отклонений от данной тенденции. Наименьшее количество отклонений от математического ожидания наблюдается для возрастной группы [от 30 до 39 лет]. Их состояние крови по сахару лучше, у более молодых людей [от 18 до 29 лет]. Следует также отметить, что для возрастных групп [от 60 до 69 лет] и [от 70 до 80 лет] не редки случаи избытка (Т > +0,33) сахара в крови.

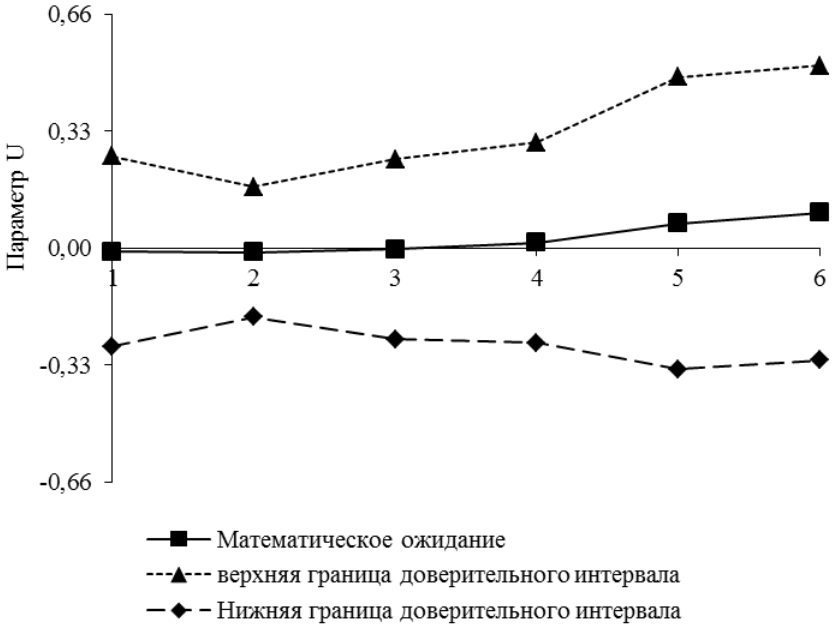


Рис. 4. Результаты анализов на содержание сахара в крови

С возрастом увеличивается уровень холестерина и возрастает количество повреждений сосудов по атеросклеротическому типу по данным ангиологического скрининга. Данные ангиологического скрининга выявили изменения сосудов по атеросклеротическому типу у около трети обследованных пациентов старше 40 лет. С увеличением возраста наблюдаются изменения развития поражения сосудов по атеросклеротическому типу, особенно эти проявления отмечены в возрастной группе (от 60 до 69 лет, рожденные в 1940 – 1951 г.г. – «дети войны»).

Выводы. Таким образом, массовые скрининговые, инструментально-лабораторные обследования «здорового» населения, с возрастом у большей части выявляют изменения в сердце (признаки гипоксии миокарда, ишемии миокарда, перегрузки или гипертрофии левого желудочка), в обменных процессах (избыточный вес и ожирение 1 степени). По результатам скрининговых исследований населения выделяются две возрастные группы – это молодые людей (от 18 до 29 лет, рожденные с 1983 по1994 гг.) – «дети перестройки» и возрастная группа (от 60 до 69 лет, рожденные с 1941 по 1950 гг.) – «дети войны», у которых зарегистрированы большее количество изменений в сердце, в сосудах и в органах дыхания, по сравнению с другими возрастами. Факторный анализ показал наибольшее число различных отклонений от данной тенденции – худшее состояние крови по сахару в группе у молодых людей (от 18 до 29 лет) – «дети перестройки» по сравнению с другими возрастами. Компьютеризированная спирометрия продемонстрировала изменения в виде легкой рестрикции органов дыхания у молодых людей (от 18 до 29 лет) – «дети перестройки», а также в интервале (от 60 до 69 лет) – «дети войны» наблюдается провал численности здоровых лиц, и увеличе-

ние количества лиц с тяжелой обструкцией. С возрастом увеличивается количество атерогенных липидов крови, более специфичными оказались АПО А и В и ЛПВП, отклонения содержания которых наблюдается уже в молодом возрасте (от 18 до 29 лет) – «дети перестройки» (при нормальном показателе общего холестерина). Ангиологические исследования выявляют атеросклеротические изменения сосудов у около трети обследованных старше 40 лет, особенно это выражено в возрастной группе (от 60 до 69 лет – «дети войны»). Установлено, что с помощью специального скрининговo, компьютерного, инструментально-лабораторного комплекса, возможно в массовом порядке определять у «здорового» населения ранние изменения в жизненноважных системах организма, проводить раннюю диагностику и лечение сердечно-сосудистых, обменных и легочных заболеваний «здорового» населения, индивидуально корректировать их путем назначения рационального питания, изменения образа жизни, отказа от вредных привычек (табакокурения, употребления алкоголя и т.д.), пропаганде ЗОЖ, делать прогноз заболеваемости населения, планировать развитие различных медицинских служб.

Список литературы

[1] Калинина В. Н., Соловьев В. И. Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие / ГУУ. – М.: (2003).
[2] Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Юнити, 2007.
[3] Медик В. А. Статистика в медицине и биологии. Руководство. В 2-х томах / Под ред. Ю. М. Комарова. Т. 1. Теоретическая статистика. / В. А. Медик, М. С. Токмачев, Б. Б. Фишман. – М. : Медицина, 2000. 421 с.
[4] Постановление Правительства РФ от 18.05.2009 № 413 «О финансовом обеспечении в 2009 году за счет ассигнований федерального бюджета мероприятий, направленных на формирование здорового образа жизни у граждан Российской Федерации, включая сокращение потребления алкоголя и табака»
[5] Приказ МЗСР РФ от 19.08.09 №597н «Об организации деятельности центров здоровья по формированию здорового образа жизни у граждан Российской Федерации, включая сокращение потребления алкоголя и табака»
[6] Сошникова Л. А., Тамашевич В. Н. Многомерный статистический анализ в экономике. – М.: Юнити, (1999).
[7] Тенюкова К. Ю. Математико-статистические оценки вербально заданных показателей в медико-биологических исследованиях./ В.В.Никитин//. Материалы шестой международной научной школы «Наука и инновации – 2011» ISS «SI – 2011»: Материалы шестого международного научного семинара «Фундаментальные исследования и инновации» и Всероссийского молодежного научного семинара «Наука и инновации – 2011», Йошкар-Ола, С. 308.

VI. «ХИМИЯ, НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 547.498

РЕАКЦИИ ЦИКЛОКОНДЕНСАЦИИ ОКСОКИСЛОТ С МОЧЕВИНОЙ

В. А. Козлов, К. В. Новиков, Т. Г. Мокеева, С. А. Кузьмина

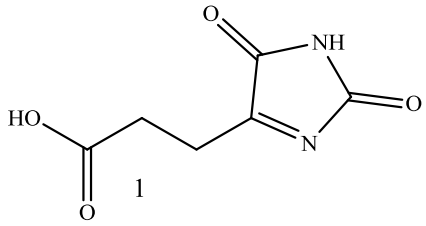
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары
e-mail: acetone1987@yahoo.com

Приведены экспериментальные данные о взаимодействии мочевин и некоторых α-оксокислот в мягких условиях. Рассмотрены данные об образовании новых азагетероциклов с двумя атомами азота, а именно имидазолидин-2,4-дионов (гидантоинов).

Азагетероциклы с двумя атомами азота в химическом синтезе представлены, в основном, производными имидазола. Некоторые из них, т.е. имидазолидин-2,4-дионы или гидантоины известны уже давно, а также широко известны методы их синтеза на основе реакций циклоконденсации 1,2-бифункциональных соединений с мочевинами [1].

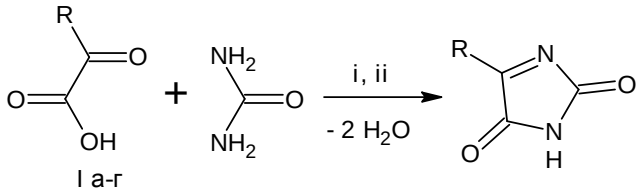
Целью нашего исследования являлось изучение возможности получения производных имидазолидин-2,4-диона с помощью реакций циклоконденсации мочевин и α-оксокислот, и оценить промышленную перспективность синтеза 4(5)-замещенных гидантоиновых производных.

Предположительный природный источник гидантоинов – парабиохимическая реакция в живых организмах. Известно, что 3-(2,5-диоксо-2,5-дигидроимидазол-4-ил)-пропионовая кислота (**1**) образуется из α-кетоглутаровой кислоты и мочевины в результате реакции сопровождающей цикл Кребса. Биологическая целесообразность ее существования в живых объектах может быть объяснена необходимостью связывания мочевины для снижения ингибирующего эффекта её высоких концентраций на клеточные ферменты [2, 3].



1

Этот процесс может быть воспроизведен и в лабораторных условиях, как выяснилось, α-оксокислоты способны реагировать с карбамидом в мягких условиях с образованием имидазолин-2,4(5)-дионовой структуры. Способность к реакциям циклоконденсации с карбамидом была выявлена у пировиноградной, мезоксалевой, глиоксиловой кислот и их этиловых эфиров. Взаимодействие α-оксокислот (Iа-г) с мочевиной осуществляли при мольном соотношении реагентов 1:1. Реакции протекали при 80-90^{o}C, и при pH<4, в среднем, завершались через 3-3,5 ч после смешения реагентов. Раствор окрашивался в соломенно-желтый цвет, через некоторое время выпадал осадок продукта реакции желто-бежевого цвета. После отделения осадка перегонкой фильтрата были получены гидантоиновые производные (IIа-г). В нейтральной среде процесс существенно замедлялся. Строение синтезированных соединений было подтверждено данными газовой хроматографии и ЯМР-спектров, а состав – элементным анализом. Например, спектр ЯМР ^{1}H 3-(2,5-диоксо-2,5-дигидроимидазол-4-ил)-пропионовой кислоты характеризуется наличием двух мультиплетов метиленовых протонов с химическими сдвигами 1,9 м.д. и 2,25 м.д. и синглетом имидного протона с δ=8,1 м.д.



I а-г

II а-г

R = $(CH_2)_2COOH$ (а), $COOC_2H_5$ (б), COOH (в), CH_3 (г)

i: pH=7, 80-90°,3 сут

ii: pH = 1-4, 80-90°, 3,5 ч

Спектры ЯМР ^1H зарегистрированы на приборе Bruker DRX-500 с рабочей частотой 500,13 MHz, растворитель DMSO – d6. Внутренний стандарт ГМДС. Идентификация структуры веществ в растворе была проведена с помощью газового хроматографа Shimadzu GCMS-QP2010S. Практическая значимость получения подобных соединений in vitro состоит в том, что гидантоиновые производные, в большинстве своем, – основа для уникальных медицинских препаратов, диагностикумов и антисептиков в косметологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, гос. контракт № 8737р/13960 от 14.01.2011.

Список литературы

[1] Гетероциклические соединения, под ред. Р. Элъдерфилда, пер. с англ., Т. 5, М.: 1961, С. 203-11.
[2] *Kozlov V.A., Matkov K.G., Lyschikov A.N.* // European J. Natur. Hist. 2007. N6. P. 65-67.
[3] *Новиков К.В., Козлов В.А., Ионова Д.А.* // Актуальные проблемы химической науки, практики и образования : сб. ст. международная науч.-прак. конф. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 186-189.

ФОТОМЕТРИЯ 4-АЗА-4-АРИЛ-1-ГИДРОКСИМЕТИЛ-10-ОКСА-3,5-ДИОКСОТРИЦИКЛО[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]ДЕЦ-8-ЕНОВ

В. А. Козлов, Ю. Н. Митрасов, О. В. Кондратьева, И. В. Гордеева, О. Б. Полякова, О. Е. Кириллова, А. Н. Кочнева, А. А. Авруйская, В. А. Сорокина, О. А. Колямшин[1]

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», Чебоксары, Россия
[1]ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», Чебоксары, Россия
mitrasov_un@mail.ru

Реакцией [4+2]-циклоприсоединения фурфурилового спирта и N-арилмалеинимидов синтезированы 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-ены и изучена их способность к флуоресценции. Показано, что они являются перспективными соединениями для разработки на их основе светотехнических устройств.

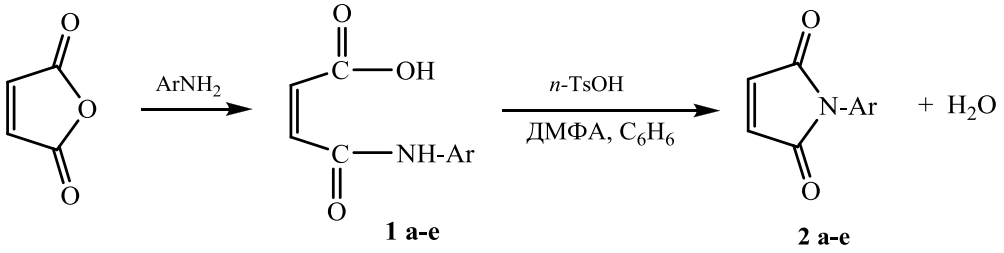
We have synthesized 4-aza-4-aryl-1-hydroximethyl-10-oxa-3,5-dioxotricyclo[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]dec-8-ens by the reaction of [4+2]-cycloaddition of furfuryl alcohol and N-arylmaleinimids. It is shown that they are perspective connections for development of lighting engineering devices on their basis.

1. Введение. Одной из фундаментальных физических характеристик веществ является способность к флуоресценции. Интерес к таким органическим соединениям обусловлен воз-

можностью использования их в технике как световых маркеров, не потребляющих электроэнергию. Они могут использоваться как ловушки фотонов в составе композитных материалов для защиты рабочего полимера от фоторазложения ультрафиолетом. При этом у композита появляется дополнительное свойство – флуоресценция, которое может использоваться для разработки светотехнических объектов с длительным послесвечением, например: светознаки систем аварийной, предупреждающей, рекламной и другой информации на дорогах, аэропортах, местах общественного пользования и т.д. В настоящее время в промышленности применяется ряд фосфоресцентных эпоксидных компаундов: (ОПТОКОМ ФЛ-2/1, ОПТОКОМ ФЛ-2/2, ОПТОКОМ ФЛ-2/3, ОПТОКОМ ФЛ-2/4, ОПТОКОМ ФЛ-2/5, ОПТОКОМ ФЛ-3/6 и ОПТОКОМ ФЛ-3/7 и др.), в которых используется введение в эпоксидную смолу специального оптического модификатора. С точки зрения технологичности, более интересными нам представляются соединения с собственной флуоресценцией, поскольку это исключает необходимость введения дополнительных, химически разнородных с композитной основой, веществ. Кроме того, они могут быть использованы в качестве флуорохромных меток в медикобиологических цитологических исследованиях [1], в том числе селективных к каким-либо биологическим мишеням.

Целью исследования являлось изучение спектральных характеристик синтезированных на кафедре химии и биосинтеза ФГБОУ ВПО «ЧГПУ им. И. Я. Яковлева» 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов для выявления наиболее перспективных флуорофоров для возможного промышленного применения.

2. Материалы и методы. Реакцией [4+2]-циклоприсоединения фурфурилового спирта и N-арилмалеинимидов был получен ряд 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицик-ло[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов (**3а-е**). В качестве исходных диенофилов были использованы N-фенил-, N-4-метилфе-нил-, N-4-карбоксифенил-, N-3-этоксикарбонилфенил-, N-2-нитрофенил- и N-4-фенилазофе-нил-малеинимиды, которые были синтезированы в две стадии на основе реакций малеинового ангидрида и замещенных анилинов.



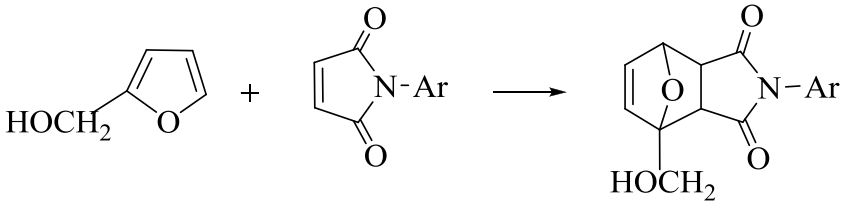
Ar=C_6H_5 (а), 4-$CH_3C_6H_4$ (б), 4-$HOOC_6H_4$ (в), 3-$C_2H_5OOCC_6H_4$ (г), 2-$O_2NC_6H_4$ (д), 4-$C_6H_5N{=}NC_6H_4$ (е).

N-Арилмалеинимиды (**2а-е**) легко взаимодействуют с фурфуриловым спиртом при комнатной температуре и эквимольном соотношении реагентов. В качестве растворителя использовали абсолютный бензол или 1,4-диоксан. Контроль за протеканием реакции осуществляли по данным тонкослойной хроматографии. По мере протекания реакции из раствора выпадали бесцветные (**3а-г**), желтые (**3д**) или оранжевые (**3е**) кристаллы аддуктов диенового синтеза, которым по результатам анализа ИК-спектров и данных хромато-масс-спектрометрии (табл. 1) соответствуют структуры 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов (**3а-е**).

В ИК спектрах низкочастотное смещение полосы валентных колебаний О–Н-связи может указывать на образование димера или наличие внутримолекулярной водородной связи, которая, вероятно, образована с участием карбонильной группы, а в случае соединения (**3д**) – также нитрогруппы.

С целью исследования вызванной флуоресценции кристаллы 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов (**3а-е)** были подвергнуты

микроскопии на микроскопе «Люмам-4». Флуориметрию осуществляли с помощью микролюминиметра ФМЭЛ-1А.



3 а-е

Ar=C_6H_5 (а), 4-$CH_3C_6H_4$ (б), 4-$HOOCC_6H_4$ (в), 3-$C_2H_5OOCC_6H_4$ (г), 2-$O_2NC_6H_4$ (д), 4-$C_6H_5N{=}NC_6H_4$ (е).

Таблица 1

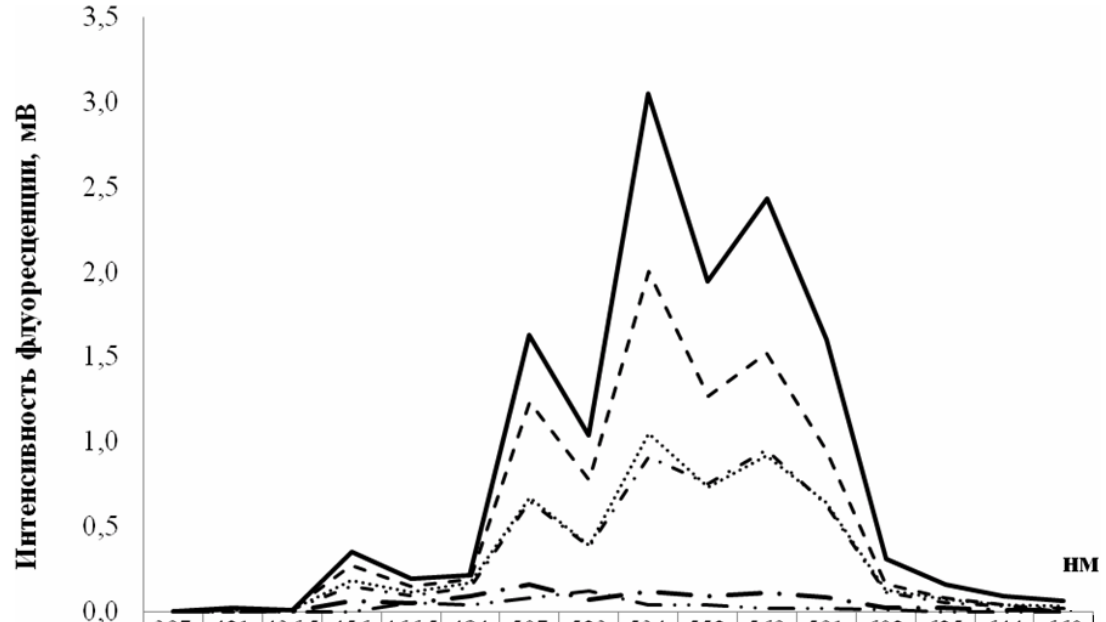
Параметры ИК-спектров (ν, $см^{-1}$) 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов (**3а-е**)

№ соединения	NC=O	C–C аром., HC=CH	H–O	C–O–C
3а[а]	1704	3073, 1593, 1500,	3435	1176, 1064, 1031
3б	1705	3071, 1602, 1538, 1515	3492	1176, 1045
3в[б]	1707	3075, 1602, 1586, 1517	3384	1085, 1029
3г[б]	1706	3080, 1604, 1589	3459	1290, 1074
3д[в]	1703	3083, 1612, 1606, 1508	3529	1188, 1069, 1033
3е	1705	3078, 1598, 1538, 1499	3487	1172, 1044

Примечание: а) масс-спектр, M^+, *(m/z):* 271, б), ν (C=O) 1772 (**3в**), 1775 (**3г**) $см^{-1}$,
в) ν_{as} (N–O) 1562 $см^{-1}$, ν_s (N–O) 1332 $см^{-1}$.

Методика фотометрии. Электрические параметры при всех флуоресцентных измерениях на всех замерах определялись следующими параметрами: входное напряжение 900В, сопротивление усилителя 10^6 Ом. В насадке был установлен зонд 1,5. Для измерения использовался ФЭУ-39, показания снимались с цифрового вольтметра. На каждом препарате измеряли интенсивность флуюресценции не менее чем от 10 участков, данные усредняли. Запирающий светофильтр ЖС18, $\lambda_{возбужд.}$=410 нм, светофильтры ФС, БС, СЗС.

3. Результаты исследования. Фотофлуоресценция исследуемых веществ наблюдалась в желто-зеленой области спектра. Полученные данные представлены на рис. Наиболее интенсивная бело-желтая флуоресценция наблюдалась при исследовании замещенной *n*-аминобензойной кислоты (**3в**). Для веществ (**3а-г**) наблюдаются три пика флуоресценции при 507, 534 и 569 нм. Из этого следует, что тестируемые соединения имеют, как минимум, три группы синглетных атомов, являющихся источником вызванной флуоресценции. Одной из них, очевидно, является простая эфирная группа. Вызванная флуоресценция соединений (**3а-г**) может быть обусловлена тем, что в их молекулах имеются полярные связи С—О, атомы азота и кислорода с неподелённными парами электронов, которые могут являться ловушками фотонов. Но, поскольку кристаллическая структура сухого вещества удерживает его от немедленного разрушения при поглощении фотона, поглощенный фотон излучается. Как следует из анализа представленных на рис. данных, максимальный квантовый выход наблюдается у вещества (**3в**). Величина квантового выхода достаточна для того, чтобы продолжить изучение параметров взаимодействия этого вещества с известными композитными основами. Яркость послесвечения на данном этапе не исследовалась. Анализ химической структуры (**3 а-г**) позволяет провести дальнейшие целенаправленные поиски перспективных флуорофоров с целью создания веществ как с большим квантовым выходом, так и имеющих максимумы флуоресценции в других областях спектра и последующей разработки линейки флуоресцентных меток.



	397	421	436,5	456	466,5	484	507	523	534	552	569	591	602	625	644	660
3 е	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,08	0,12	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0	0	0
3 г	0,00	0,01	0,01	0,15	0,09	0,14	0,65	0,38	0,91	0,75	0,95	0,63	0,11	0,05	0,03	0,02
3 д	0,00	0,01	0,00	0,06	0,05	0,09	0,16	0,07	0,12	0,09	0,11	0,08	0,02	0,02	0,01	0,01
3 б	0,00	0,01	0,01	0,18	0,11	0,17	0,67	0,39	1,05	0,73	0,92	0,64	0,13	0,07	0,04	0,03
3 в	0,00	0,02	0,01	0,35	0,19	0,21	1,63	1,04	3,05	1,94	2,43	1,60	0,31	0,16	0,09	0,06
3 а	0,00	0,00	0,01	0,27	0,15	0,19	1,23	0,77	2,00	1,27	1,52	0,95	0,16	0,08	0,04	0,00

Рис. Спектральные характеристики соединений (**3 а-е**)

Выводы. Показано, что для 4-аза-4-арил-1-гидроксиметил-10-окса-3,5-диоксотрицикло-[5,3,$1^{1,7}$,$0^{2,6}$]дец-8-енов наблюдается фотофлуоресценция в желто-зеленой области спектра. Они являются перспективными соединениями для разработки на их основе светотехнических устройств.

Список литературы

[1] В. Н. Карнаухов, *Люминесцентный спектральный анализ клетки*, Наука, Москва (1988).

ПОВЕДЕНИЕ ОКСОБОРАТА ВОДОРОДА В ПРИСУТСТВИИ НЕКОТОРЫХ АЛИФАТИЧЕСКИХ АМИДОВ

О. В. Кольцова, В. Г. Скворцов, Ю. Ю. Пыльчикова, М. А. Ершов[*], А. Ю. Цыпленкова, В. В. Никитина

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева
428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38, E-mail: rektorat@chgpu.cap.ru
[*] *ФГБОУ ВПО Чувашская государственная сельскохозяйственная академия*
428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29, E-mail: m_ershov@academy.cap.ru

Физико-химическими методами анализа изучено взаимодействие оксобората водорода с алифатическими амидами: карбамидом, тиокарбамидом, ацетамидом, формамидом, диметилформамидом, малондиамидом. Некото-

рые из полученных соединений испытаны в качестве биологически активных препаратов. Выявлено, что они являются эффективными стимуляторами роста растений.
Physical and chemical analysis of interacting of oxoborate hydrogen with aliphatic amides such as carbamide, thiocarbamide, acetamide, formamide, dimethyl formamide, malondiamide were studied. Some of the gained compounds were tested as bioactive substances. They were identified as effective plant growth stimulants.

1. Введение. Известно, что оксобораты находят широкое применение. Их используют в качестве ингибиторов коррозии металлов [1], микроудобрений, стимуляторов роста растений [2,3], бактерицидов, антисептических, дезинфицирующих консервационных средств [4]. Следует отметить, что в последнее время наблюдается некоторое снижение уровня потребления оксоборатов в таких областях, как парфюмерная, фармацевтическая, пищевая и керамическая промышленность. Однако, происходит рост и развитие новых производств – стекловолокна, оптических и специальных стекол, хрусталя, эмалей, цемента, огнезащитных составов, моющих средств [5].

Алифатические амиды также обладают рядом полезных свойств, благодаря чему применяются в разных областях. Карбамид, ацетамид являются ценными добавками к минеральным удобрениям и кормам для животных; формамид и диметилформамид также используются в качестве физиологически активных веществ в составе жидких удобрений. Амиды служат пластификаторами бумаги, ПВХ, экстрагентами некоторых радиоактивных металлов, сырьем в производстве полимеров, промежуточными продуктами в синтезе сульфамидных препаратов и др.[6-8].

Изучение взаимодействия оксобората водорода (ОБВ) с различными органическими производными аммиака представляет особый интерес с целью получения качественно новых химических соединений и выявления их специфических свойств.

2. Методы и материалы. Изучение систем ОБВ – Амид – H_2O проводили методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии при 25°С [9].

Для опытов брали предварительно очищенные препараты: ОБВ (ортоборная кислота), диамид малоновой кислоты (ДМК) марки «х.ч.», карбамид (КА), тиокарбамид (ТК), ацетамид (АЦ), формамид (ФА), диметилформамид (ДМФА) квалификации «ч».

Изотермическую среду создавали в водном термостате 1ТЖ-0-03 с точностью ±0,1°С. Равновесие в системах при постоянном перемешивании устанавливалось через 10-12 ч. Взятие проб жидких и твердых фаз производили, фильтруя насыщенные равновесные растворы через стеклянный фильтр Шотта средней пористости. Плотность растворов измеряли пикнометрически, показатель преломления – на рефрактометре ИРФ-454Б, pH – на pH-метре pH-121.

Химический анализ жидких и твердых фаз проводили на азот органического компонента методом Кьельдаля [10], азот аммиака – ацидиметрическим титрованием, содержание ОБВ определяли потенциометрическим титрованием на pH-метре pH-121 в присутствии шестиатомного спирта маннита [11]. Идентификацию полученных соединений проводили химическим, кристаллооптическим, рентгенофазовым, рентгеноструктурным анализами и ИК-спектроскопией. Кристаллооптические измерения вновь синтезированных соединений проводили с помощью поляризационного микроскопа Полам Р-112 в иммерсионных препаратах стандартного набора ИЖ-1.

Дифрактограммы для растертых в порошок кристаллов записывали на дифрактометре ДРОН – 3,0 (монохроматизированное Cu K_α– излучение).

ИК-спектры снимали на спектрофотометре SPECORD-75 IR и UR-20 в вазелиновом масле и в таблетках с бромидом калия.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) выполнен на автоматических четырехкружных дифрактометрах Bruker–AXS SMART 1000 с координатным (CCD) детектором. Для вычисления использовали пакет программ Bruker AXS SHELXTL.

3. Результаты и их обсуждение. Изучение гетерогенных равновесий в системе оксоборат водорода – карбамид – вода при 25°С показало, что образование новых соединений при данной температуре не наблюдается. При повышении же температуры до 52-75°С образуется новое соединение. По данным ИК-спектроскопии ОБВ с карбамидом образует химическое соединение типа солей Аррениуса. Соединение представляет аммиачномочевинную соль с циклическим пентаборатным анионом $CO(NH_2)_2 \cdot NH_4B_5O_6(OH)_4$ [12]. В разбавленных растворах комплекс сильно гидролизуется, поэтому гидролизат был назван раствором борноаммиачномочевинного соединения (БАМС). Проведенные в лабораторных и полевых условиях опыты на различных сельскохозяйственных культурах показали, что БАМС является эффективным стимулятором роста и развития растений.

При замене в карбамиде атома азота серой способность к солеобразованию, как и следовало ожидать, значительно уменьшается. В изученной системе оксоборат водорода – тиокарбамид – вода при 25°С образование новых твердых фаз также не происходит, система относится к простому эвтоническому типу. Однако, при 45 и 65°С установлено образование твердых растворов состава $mH_3BO_3 \cdot nCS(NH_2)_2$, где m<n. Бертоллид с предельным содержанием ортоборной кислоты (БПС) выделен, проанализирован, и его химический состав соответствует молекулярной формуле $H_3BO_3 \cdot 4CS(NH_2)_2$. Это бесцветные, прозрачные кристаллы, хорошо растворимые в воде. Плотность бертоллида $H_3BO_3 \cdot 4CS(NH_2)$ равна 1,407 г/см^3, молекулярный объем 260,33 см^3/моль, удельный объем 0,71 см^3/г. Вещество анизотропно, с очень высокими цветами интерференции; погасание прямое. Кристаллы двуосные, оптически отрицательные. Показатели преломления равны: Ng = 1,780±0.005; Np = 1,633±0.003. По сумме оптических свойств бертоллид относится к низшей сингонии, вероятнее всего, ромбической.

Данные ИК-спектроскопии указывают на то, что в бертоллиде предельного состава тиокарбамид находится в непротонированном виде, выполняя роль кристаллосольватной молекулы. Основные полосы поглощения амида не претерпевают в БПС существенных изменений. Связывание ортоборной кислоты с тиокарбамидом, по-видимому, происходит за счет водородных связей, возникающих при участии C=S и O-H- групп. Не исключается возможность возникновения связи и за счет кислотно-основного взаимодействия реагентов по Льюису.

Данные рентгенофазового анализа показывают, что бертоллид предельного состава по положению и интенсивности пиков отличается от таковых исходных веществ. Он имеет собственный набор межплоскостных расстояний. Как установлено опытами, БПС обладает физиологической активностью и используется в качестве стимулятора роста растений семейств мятликовых, капустных, маревых и пасленовых [13]. В тройных водных системах H_3BO_3 – CH_3CONH_2 ($HCONH_2$, $HCON(CH_3)_2$, $CH_2(CONH_2)_2$) – H_2O новых соединений и фаз переменного состава не образуется. Для системы с ацетамидом исследована политерма растворимости при 20, 30 и 45°С. Отмечено, что система простого эвтонического типа, с повышением температуры растворимость компонентов значительно возрастает.

Изотерма растворимости представлена двумя ветвями кристаллизации, отвечающими исходным веществам. О химическом взаимодействии компонентов можно судить по солевым эффектам, которые они оказывают друг на друга. Ацетамид повышает растворимость ОБВ, а борная кислота несколько высаливает ацетамид. Такое поведение можно объяснить образованием в жидкой фазе неустойчивых ассоциатов.

Тройная система H_3BO_3 – $CH_2(CONH_2)_2$ – H_2O также простого эвтонического типа. Взаимодействие компонентов ограничивается взаимным отрицательным лиотропным эффектом. Системы H_3BO_3 – $HCONH_2$ ($HCON(CH_3)_2$) – H_2O несколько отличаются тем, что два компонента жидких и один кристаллический. Их изотермы растворимости представлены одной ветвью, отвечающей кристаллизации в твердую фазу оксобората водорода. С накоплением в растворе ФА и ДМФА растворимость кислоты значительно повышается, то есть. данные амиды оказывают положительный лиотропный эффект на ОБВ.

Однако, при длительном (до двух недель) стоянии насыщенного раствора оксобората водорода в формамиде, содержащего небольшой избыток ортоборной кислоты, при комнатной температуре выпадают бесцветные кристаллы, имеющие формулу $2HCONH_2 \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$. Вследствие систематического двойникования этих кристаллов провести их полное рентгеноструктурное исследование не удалось. После декантации маточного раствора, содержащего вещество указанного состава, при дальнейшем стоянии (около недели) из маточника выпадали бесцветные кристаллы игольчатой формы. Как установлено последующим рентгеноструктурным анализом, их состав соответствует формуле $CH_{11}B_5N_2O_{11}$. РСА показал, что новое соединение представляет молекулярный комплекс формамида с тетрагидроксопентаборатом аммония – формамидтетрагидроксопентаборат аммония $HCONH_2 \cdot NH_4B_5O_6(OH)_4$.

Сингония кристаллов данного вещества триклинная; пространственная группа P1; a=8,489(2), b=8,854(2), c=9,113(3) Å; α=84,38(2)°, β=64,27(2)°, γ=72,16(2)°; объем ячейки V=586,9(3) Å^3; Z=2; $d_{выч.}$=1,591 г/см^3. Пикнометрически измеренная (инертная жидкость – бензол) плотность кристаллов при комнатной температуре равна $d_{изм.}$=1,532 г/см^3.

Анализ рентгеноструктурных данных показывает, что кристаллическая структура синтезированного соединения состоит из изолированных пентаборат-анионов $B_5O_6(OH)_4^-$, катионов аммония NH_4^+ и сольватных молекул формамида, объединенных трехмерной сеткой водородных связей, в которых принимают участие все «активные» атомы водорода.

4. Выводы

1. Методами изотермической растворимости, денси-, рефракто- и pH-метрии изучены гетерогенные равновесия в трехкомпонентных системах ОБВ –Амид – H_2O.
2. Установлено, что в тройных водных системах H_3BO_3 – CH_3CONH_2 ($HCONH_2$, $HCON(CH_3)_2$, $CH_2(CONH_2)_2$) – H_2O новых соединений и фаз переменного состава не образуется.
3. Выявлено, что при взаимодействии ОБВ с карбамидом, тиокарбамидом и формамидом образуются новые соединения и фазы переменного состава, которые выделены и идентифицированы химическим, кристаллооптическим, рентгенофазовым анализами и ИК-спектроскопией.
4. Для формамидтетрагидроксопентабората аммония $HCONH_2 \cdot NH_4B_5O_6(OH)_4$ проведен рентгеноструктурный анализ. Показано, что соединение представляет молекулярный комплекс формамида с тетрагидроксопентаборатом аммония.
5. Доказано, что соединения оксобората водорода с карбамидом и тиокарбамидом являются эффективными стимуляторами роста растений.

Список литературы

[1] А. И. Алцыбеева, С. З. Левин, *Ингибиторы коррозии металлов,* Химия, Ленинград (1968).
[2] Я.В. Пейве, *Микроэлементы – регуляторы жизнедеятельности и продуктивности растений*, Зинатне, Рига (1971).
[3] Г.Е. Радцева, В.С. Радцев, *Физиологические аспекты действия химических регуляторов роста на растения,* Наука, Москва (1982).
[4] В. Г. Скворцов, В. И. Михайлов, Ю. Н. Митрасов и др., *Физико-химическая характеристика ортобората водорода и его поведение в присутствии оксокислот,* Вестник ЧГПУ, № 1, Чебоксары (2003).
[5] К. В. Ткачев, Ю. С. Плышевский, *Технология неорганических соединений бора,* Химия, Ленинград (1983).
[6] *Химическая* энциклопедия. – М.: Большая Российская энцикл., 1988. – Т.1. – С. 127
[7] *Химическая* энциклопедия. – М.: Большая Российская энцикл., 1998. – Т.5. – С. 497
[8] О. Я. Нейланд, *Органическая химия*, Высшая школа, Москва (1990).
[9] В. Я. Аносов, М. И. Озерова, Ю. Я. Фиалков, *Основы физико-химического анализа*, Наука, Москва (1978).

[10] Ю. Б. Филиппович, Т. А.Егорова, Г. А.Севастьянова, *Практикум по общей биохимии.* Просвещение, Москва (1982).
[11] М. А. Ершов, О. В. Петрова, В. Г. Скворцов, *Политерма растворимости системы $H_3BO_3 – NH_2SO_2OH – H_2O$ при 15, 25 и 40°С,* Известия НАНИ ЧР, Сер. Естеств. науки, Чебоксары (1996).
[12] В. Г. Скворцов, *Дис. …докт. хим. наук,* Ташкент: Ин-т химии АН РУз. (1990).
[13] В. Г. Скворцов, Р. Х. Акбердина, О. В. Петрова и др., *Стимулятор роста растений семейств мятликовых, капустных, маревых и пасленовых,* А.с.СССР № 1052204 (1983).

РЕАКЦИИ 1,1-ДИ(4-АМИНОФЕНИЛ)ЦИКЛОГЕКСАНА С МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ

Ю. Н. Митрасов, О. В. Кондратьева, С. П. Яшкильдина, А. А. Авруйская, Т. А. Леснова

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», Чебоксары, Россия
mitrasov_un@mail.ru

Взаимодействием 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексана с малеиновым ангидридом в мольном соотношении 1:1 и 1:2 в среде ацетона синтезированы соответствующие моно-и диамиды малеиновой кислоты, циклизацией которых в присутствии *п*-толуолсульфокислоты или в уксусной кислоте получены N-4-[1-(4-аминофенил)циклогексил]фенилмалеинимид и 1,1-бис[4-(2,5-диоксо-2,5-дигидро-пирролил-1)фенил]циклогексан. Установлено, что N-4-[1-(4-аминофенил)циклогексил]фенилмалеинимид и 1,1-бис[4-(2,5-диоксо-2,5-дигидропиролил-1)фенил]циклогексан реагируют с фурфуриловым спиртом по схеме [4+2]-циклоприсоединения.
As a result of the reaction of 1,1-di(4-aminophenyl)cyclohexane with maleic anhydride in a molar ratio of 1:1 and 1:2 in acetone medium the corresponding mono- and diamides of maleic acid are synthesized, by cyclization of which in the presence of acetic or *p*-toluenesulfonic acid N-4-[1-(4-aminophe-nyl)cyclohexyl]phenylmaleinimid and 1,1-bis[4-(2,5-dioxo-2,5-dihydropirrolyl-1)phenyl]cyclohexan are derived. It has been established that N-4-[1-(4-aminophenyl) cyclohexyl]phenylmaleinimid and 1,1-bis[4-(2,5-dioxo-2,5-dihydropirrolyl-1)phenyl]cyclohexan react with the furfuryl alcohol according to the scheme [4+2]-cycloaddition.

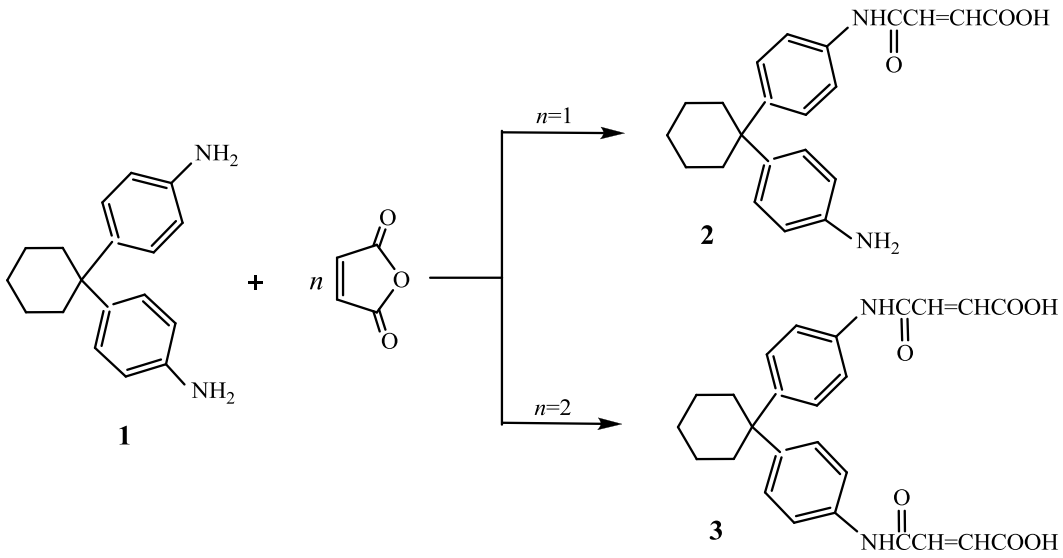
1. Введение. За последние годы широкое распространение получили интенсивные технологии возделывания посевов сельскохозяйственных культур. Обязательным агроприемом для получения более высокой полевой всхожести и выживаемости растений в неблагоприятных условиях в период «посев-всходы», является проведение предпосевной обработки семян биогенными препаратами [1]. Поэтому исследования направленные на расширение ассортимента и поиск новых пестицидов являются актуальными. Для решения этой проблемы повышенный интерес представляют 2,5-дигидропиррол-2,5-дионы (имиды малеиновой кислоты), поскольку известно, что ряд производных малеинимида находит применение в качестве пестицидов [2]. В связи с этим разработка новых методов синтеза, изучение химических свойств и выявление новых областей практического применения малеинимидов представляет повышенный интерес.

Целью работы явился синтез новых типов малеинимидов на основе реакций 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексана с малеиновым ангидридом и изучение их свойств.

2. Материал и методы. В качестве исходных реагентов были использованы товарные малеиновый ангидрид, ацетон, ледяная уксусная кислота, *п*-толуолсульфокислота, фурфуриловый спирт и гидрохлорид 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексана. Строение синтезированных соединений подтверждали методами ИК спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии, элементного и функционального анализов. Анализ методом ТСХ проводили на пластинах «*Silufol*», подвижная фаза – этанол-хлороформ, 1:8; проявитель – пары иода. Элементный анализ осуществили на анализаторе фирмы *Parkin Elmer 2400 CHN*. Хромато-масс-спектрометрию проводили на приборе *Shimadzu GCMS-QP2010S*. ИК-спектры снимали на инфракрасном Фурье-спектрометре ФСМ 1202; призма KBr в диапазоне 500-4000 $см^{-1}$, твердые вещества исследовались в виде суспензии в вазелиновом масле.

Определение энергии прорастания лабораторной всхожести проводили согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методика определения всхожести».

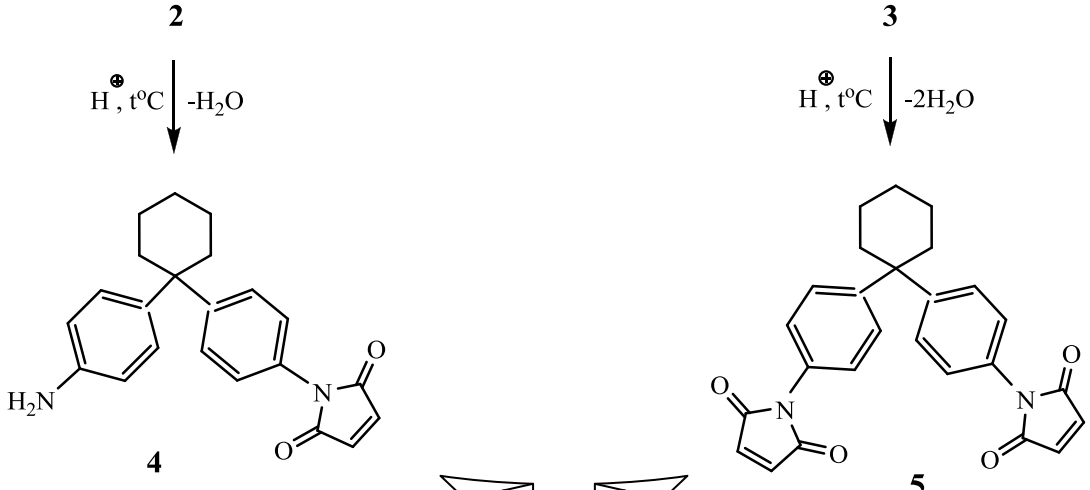
3. Результаты исследования. Исходный 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексан (**1**) был получен обработкой дигидрохлорида 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексана (**2**) избытком водного раствора гидроксида натрия. Ацилирование амина (**1**) малеиновым ангидридом проводили в среде ацетона при комнатной температуре. В зависимости от мольного соотношения реагентов в результате реакции образуются 3-N-{4-[1-(4-аминофенил)циклогексил]фенилкарбомоил}пропеновая кислота (**2**) или 1,1-ди[4-N-(2-карбоксиэтенил)карбомоилфенил]циклогексан (**3**).

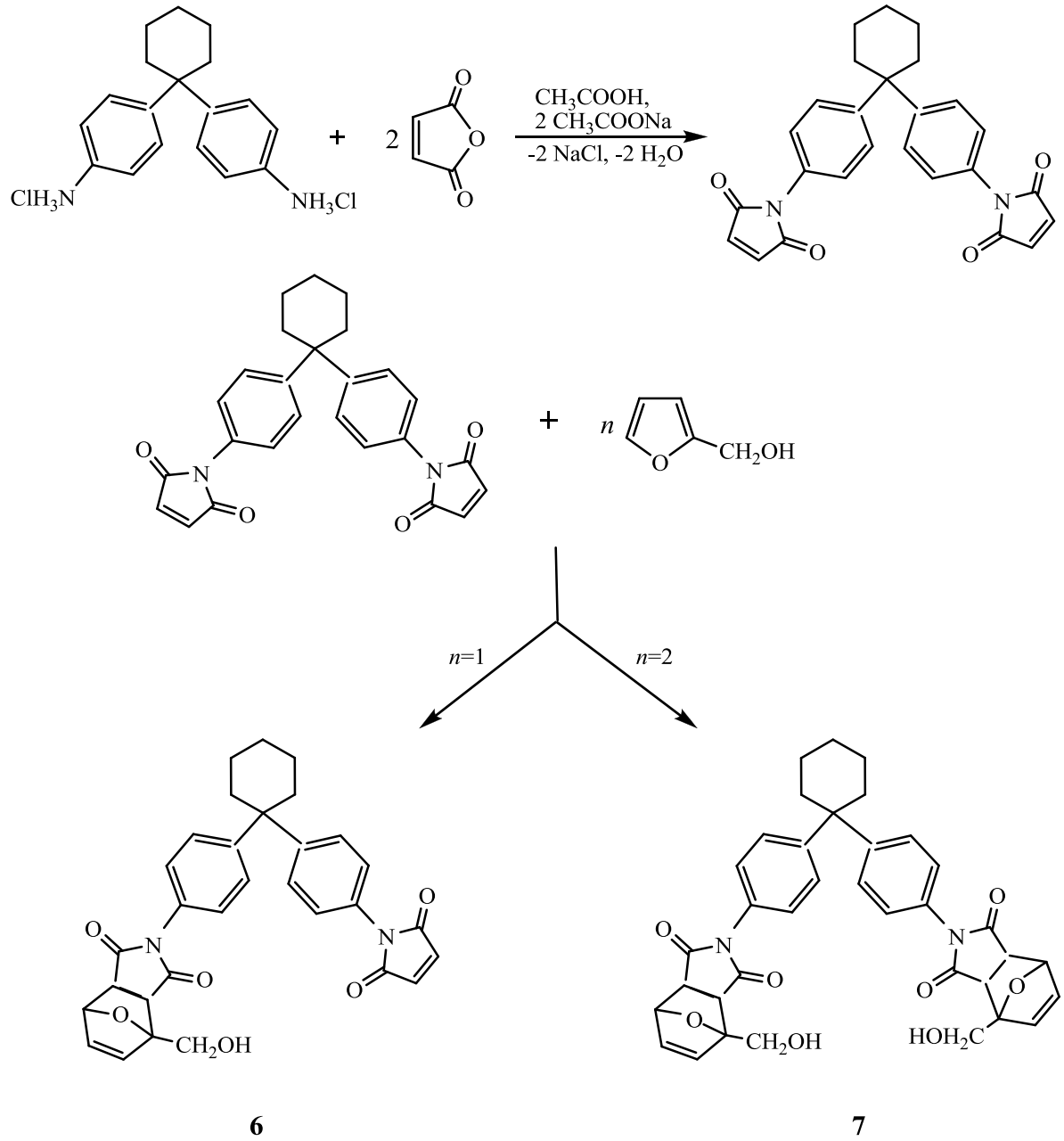


Моноамиды (**2, 3**) при кипячении в присутствии каталитических количеств *п*-толуолсульфокислоты в среде бензола с азеотропной отгонкой выделяющейся воды подвергаются циклизации с образованием N-4-[1-(4-аминофенил)циклогексил]фенилмалеинимида (**4**) и 1,1-бис[4-(2,5-диоксо-2,5-дигидропирролил-1)фенил]циклогексана (**5**).

Циклизация амида (**3**) с сопоставимым выходом протекает также при кипячении в среде ледяной уксусной кислоты. Моноимид (**4**) с выходом близким к количественному был получен в одну технологическую стадию взаимодействием диамина (**1**) с малеиновым ангидридом в среде уксусной кислоты в присутствии безводного ацетата натрия.

К имиду (**5**) с выходом 82% приводит также взаимодействие гидрохлорида 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексана с малеиновым ангидридом в среде уксусной кислоты в присутствии безводного ацетата натрия. Имид (**5**) в среде абсолютного 1,4-диоксана при комнатной температуре реагирует с фурфуриловым спиртом. В зависимости от соотношения реагентов были получены моно- и бисаддукты диенового синтеза (**6, 7**).





6 **7**

Строение всех синтезированных соединений (**1, 3-7**) подтверждали данными ИК-спектров и хромато-масс-спектрометрии, а состав – элементным анализом. Выходы, константы и данные элементного анализа соединений (**2-7)** приведены в табл.

Таблица

Выходы, константы и данные элементного анализа соединений (**2-7)**

№ соединения	Выход, %	Т. пл., °С	Найдено, %			Формула	Вычислено, %		
			C	H	N		C	H	N
2	82	184-185	72,42	6,57	7,58	$C_{22}H_{24}N_2O_3$	72,51	6,64	7,69
3	99	148-149	67,43	5,52	5,96	$C_{26}H_{26}N_2O_6$	67,52	5,67	6,06
4	99	176-177	76,17	6,33	8,01	$C_{22}H_{22}N_2O_2$	76,28	6,40	8,09
5	51	160-161	73,14	5,16	6,63	$C_{26}H_{22}N_2O_4$	73,23	5,20	6,57
6	65	90-91	72,85	6,26	6,22	$C_{27}H_{28}N_2O_4$	72,95	6,35	6,30
7	68	112-113	69,35	5,42	4,44	$C_{36}H_{34}N_2O_8$	69,44	5,50	4,50

С целью оценки биологической активности производных малеиновой кислоты нами было изучено влияние водных растворов амидов (**2, 3**) на энергию прорастания (ЭП) и лабо-

раторную всхожесть (ЛВ) семян злаковых культур. В результате проведенных исследований выявлено росторегулирующее действие исследуемых амидов на всхожесть зерновок.
Выводы. На основе 1,1-ди(4-аминофенил)циклогексана и малеинового ангидрида в зависимости от мольного соотношения реагентов синтезированы соответствующие моно- и диимды малеиновой кислоты, которые вступают в реакцию диенового синтеза с фурфуриловым спиртом.

Список литературы

[1] Н. Н. Мельников, *Химия пестицидов,* Химия, Москва (1968).
[2] О. А. Колямшин, В. А. Данилов, С. Ю. Васильева, *Малеинимиды: синтез, свойства, биологическая активность*, Деп. ВИНИТИ, №250-В2010 от 06.05.2010.

РЕАКЦИИ В СИСТЕМЕ «4-(N-α-ФУРИЛМЕТИЛЕНАМИНО)- И 4,4′-ДИ(N-α-ФУРИЛМЕТИЛЕНАМИНО)-3,3′-ДИМЕТИЛБИФЕНИЛЫ – ДИАЛКИЛФОСФИТЫ – N-ФЕНИЛМАЛЕИНИМИД»

Ю. Н. Митрасов., О. В. Кондратьева, Л. М. Садикова, И. В. Гордеева, С. П. Яшкильдина, О. Ю. Уткина

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», Чебоксары, Россия
mitrasov_un@mail.ru

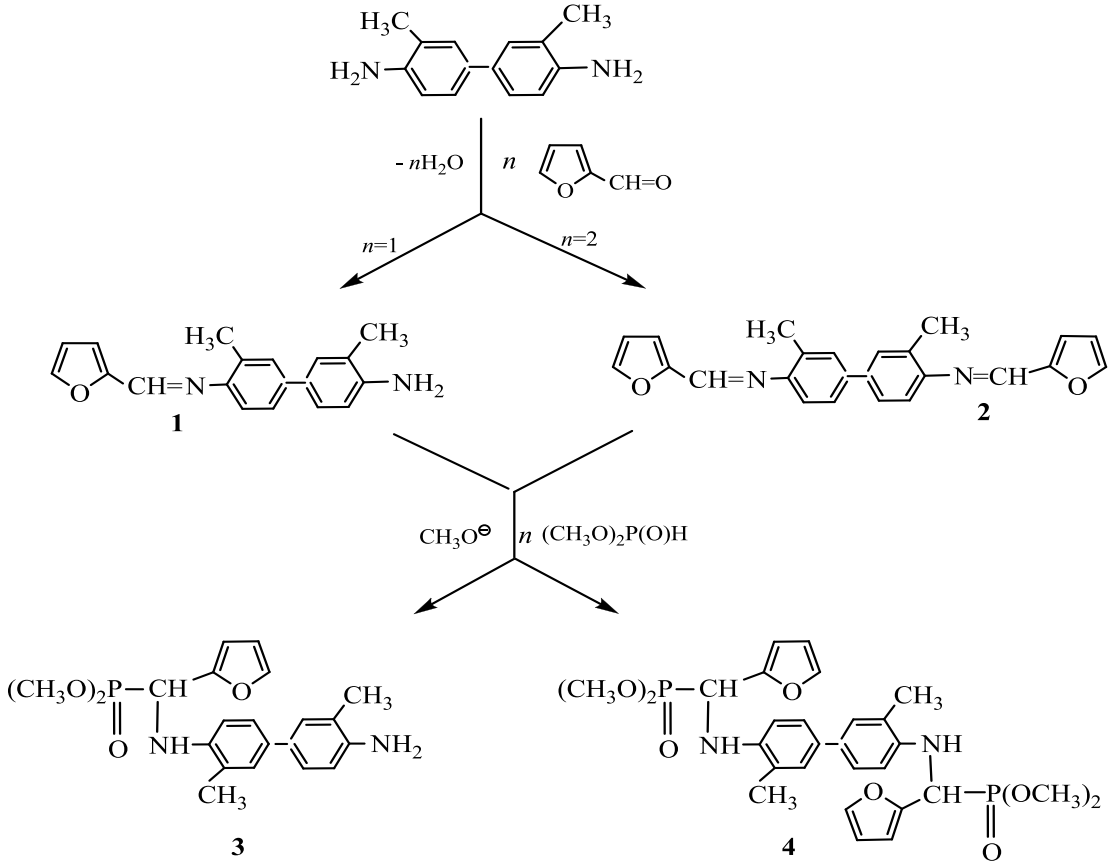
Установлено, что N-фенил-2,5-дигидропиррол-2,5-дион реагирует с 4-(N-α-фурилмети-ленамино)- и 4,4′-ди(N-α-фурилметиленамино)-3,3′-диметилбифенилами по схеме [4+2]-циклоприсоеди-нения. Показана возможность фосфорилирования синтезированных иминов и аддуктов диенового синтеза диалкилфосфитами по Пудовику.
It has been established that N-phenyl-2,5-dihidropyrrol-2,5-dion reacts with the 4-(N-α-furyl-methylenamino)- and 4,4′-bis(N-α-furylmethylenamino)-3,3′-dimethyl)biphenyles according to the scheme [4+2]-cycloaddition. Possibility of phosphorylation of synthesized imines and adducts of diene synthesis by dialkylphosphites is shown by Pudovik.

1. Введение. 2,5-Дигидропиррол-2,5-дионы (имиды малеиновой кислоты) и их производные благодаря наличию высокоактивной двойной связи легко полимеризуются и сополимеризуются с различными непредельными мономерами, могут реагировать с сопряженными диенами и различными N-, O-, P- и S-нуклеофилами (первичные и вторичные амины, цианаты, изоцианаты, азометины и др.). Ряд производных малеинимида находит применение в качестве пестицидов и высокоэффективных фармацевтических препаратов для лечения ряда заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых, болезни Альцгеймера, диабета 2-го типа, рака и ВИЧ [1]. На основании выше изложенного можно заключить, что разработка новых методов синтеза, изучение химических свойств и выявление неизвестных ранее областей практического применения 2,5-дигидропиррол-2,5-дионов является актуальной задачей. В связи с этим целью работы явилось изучение реакций замещенных 4-(N-α-фурилметиленамино)бифенилов с диалкилфосфитами и N-фенил-2,5-дигидропиррол-2,5-дионом.
2. Материал и методика исследований. В качестве исходных реагентов применяли товарные свежеперегнанные фурфурол, анилин и диметилфосфит, *о*-толидин, малеиновый ангидрид. N-Фенилмалеинимид был синтезирован по известной методике [1] на основе анилина и малеинового ангидрида. Строение синтезированных соединений подтверждали методами тонкослойной хроматографии (ТСХ), ИК и ЯМР-спектроскопии, элементного и функционального анализов.

Анализ методом ТСХ проводили на пластинах типа «*Silufol*», подвижная фаза – этанол-хлороформ, 1:8, проявитель – пары иода. Элементный анализ осуществляли на анализаторе фирмы *Parkin Elmer 2400 CHN*. ИК-спектры снимали на инфракрасном Фурье-спектрометре ФСМ 1202, призма KBr в диапазоне 500-4000 $см^{-1}$, твердые вещества исследовались в виде суспензии в вазелиновом масле. ЯМР ^{31}P спектры были записаны на приборе *Bruker WP-80* (32,44 МГц), внешний стандарт

– 85%-ная фосфорная кислота.

3. Результаты исследований и их обсуждение. Ранее нами было изучено взаимодействие в системе «фурфурол – диметилфосфит – N-фенилмалеинимид» [2]. В продолжение этих работ повышенный интерес представляло вовлечение в эту реакцию оснований Шиффа, содержащих фурановый цикл. Исходные 4-(N-α-фурилметилен-амино)- и 4,4′-ди(N-α-фурилметиленамино)-3,3′-диметилбифенилы (**1, 2**) были синтезированы взаимодействием фурфурола с *о*-толидином при мольном соотношении реагентов 1:1 или 2:1 в среде этанола или бензола с азеотропной отгонкой воды. Оказалось, что имины (**1, 2**) легко присоединяют диметилфосфит по Пудовику [3] с образованием О,О-диметил[α-(α-фурил)-α-(N-4-амино-3,3′-диметилбифенил-4′-амино)метил]фосфоната (**3**) и 4,4′-бис[N-(О,О-диметоксифосфо-рил)-α-фурилметиламино]-3,3′-диметилбифенила (**4**). Общую схему проведенных превращений можно представить в следующем виде:

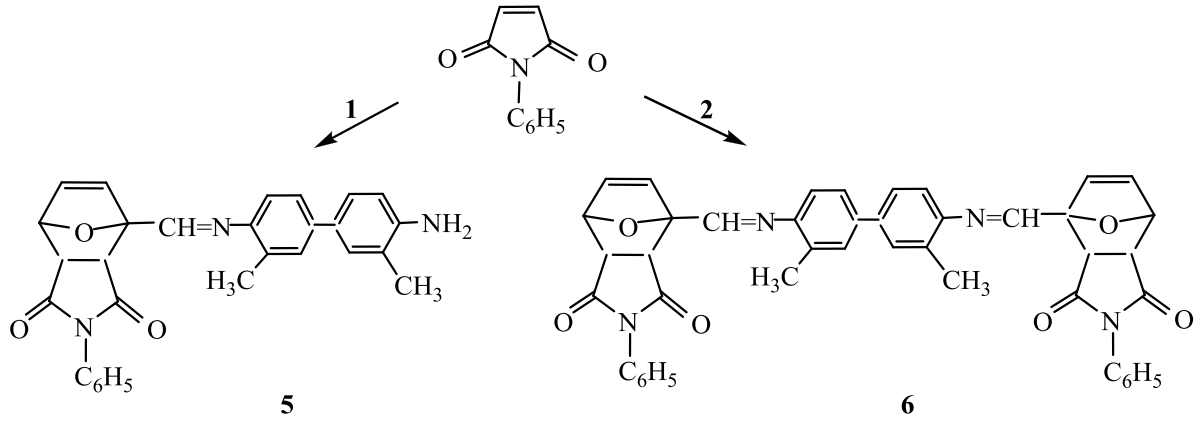


В ИК-спектрах иминов (**1, 2**) имеется полоса поглощения с максимум в области 1625-1630 см$^{-1}$, характерная для колебаний C=N-связи, которая отсутствует в ИК-спектрах аминофосфонатов (**3, 4**). В них также содержатся полосы поглощения 1280, 1064, 1024, свидетельствующие о наличии диметоксифосфорильной группы. Колебания N–H связи вторичной аминогруппы проявляются в виде сигнала с максимумом 3120-3125 см$^{-1}$.

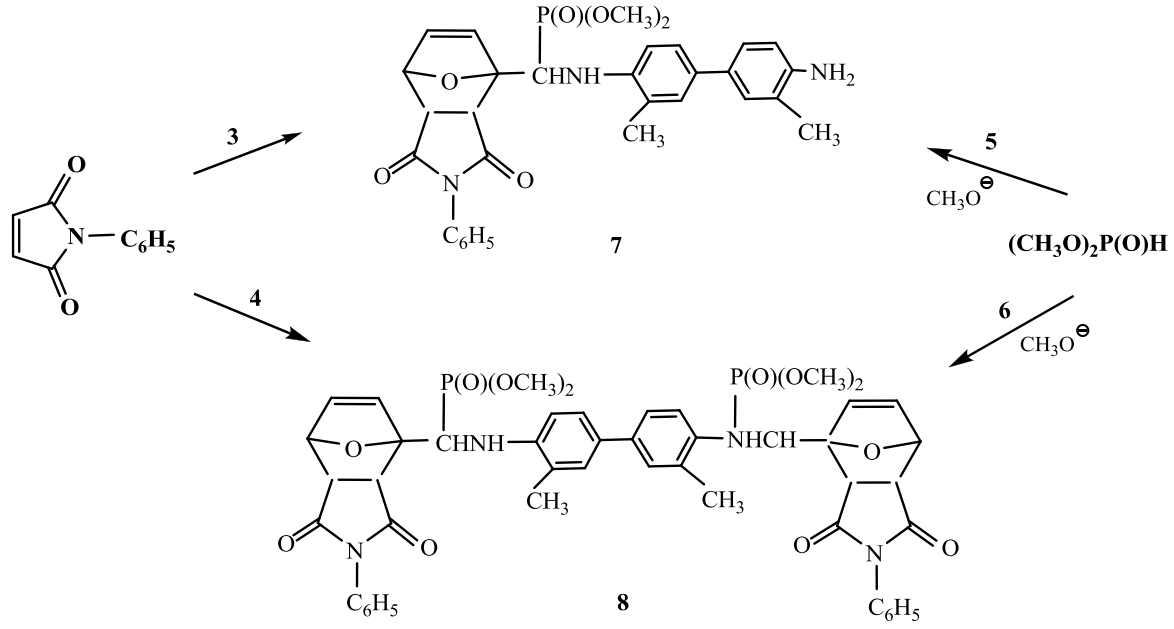
Взаимодействие N-фенилмалеинимида с иминами (**1, 2**) осуществляли в среде абсолютного бензола или 1,4-диоксана при эквимольном соотношении реагентов при комнатной температуре. Контроль окончания реакции осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии. Образовавшиеся аддукты диенового синтеза после отгонки растворителей выпадают в виде осадков темно-бордового цвета, которым по данным ИК-спектров и элементного анализа соответствуют структуры 4-аза-1-(4-амино-3,3′-диметилбифенил-4′-иминометил)-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло [5,2,1,0^{2,6}]дец-8-ена (**5**) и 4,4′-бис(N-4-аза-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло [5,2,1,0^{2,6}]дец-8-енил-1-метиленамино)-3,3′-диметилбифенила (**6**).

В ИК спектрах соединений (**5, 6**) наличие иминогруппы однозначно подтверждается полосой поглощения валентных колебаний C=N связи с максимумом в области 1620-1630 см$^{-1}$. Наряду с этим в спектре имеются полосы поглощения, характерные для карбонильной (1707-1712 см$^{-1}$) и эфирной (1140, 1074, 1020 см$^{-1}$) групп, двойной связи ($\nu_{C=C}$ 1600 см$^{-1}$, δ_{C-H} 750 см$^{-1}$) и ароматического кольца

($\nu_{H-C=}$ 3065, ν_{C-C} 1510 см $^{-1}$, δ_{C-H} 876, 695, 730 см $^{-1}$).



Аддукты диенового синтеза (**5, 6**) содержат различные по природе двойные связи и поэтому представляют повышенный интерес в качестве исходных объектов для фосфорилирования диалкилфосфитами. Нами показано, что в присутствии оснований диметилфосфит присоединяется по иминогруппе. Такое течение процесса подтверждается методом встречного синтеза, заключающегося в конденсации фосфонатов (**3, 4**) с N-фенилмалеинимидом.



Процесс осуществляли по стандартной методике [3] при эквимольном соотношении реагентов и температуре 25°С. По данным ИК и ЯМР ^{31}Р-спектров полученным соединениям соответствуют структуры 4-аза-1-[α-(О,О-диметоксифосфорил)-α-(N-4-амино-3,3′-диметилбифенил-4′-амино)метил]-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицикло[5,3,1,$0^{2,6}$] дец-8-ена (**7**) и 4,4′-бис[N-α-(4-аза-10-окса-3,5-диоксо-4-фенилтрицик-ло[5,2,1,$0^{2,6}$]дец-8-енил-1)-α-(О,О-диметоксифосфорил)метиламино]-3,3′-диметилбифенила (**8**).

В ИК спектрах фосфонатов (**7, 8**) содержатся интенсивные полосы поглощения в области 1705 ($\nu_{C=O}$), 1260 ($\nu_{P=O}$), 1040-1170 (ν_{C-O}) см $^{-1}$, а также полосы средней интенсивности 3200 (ν_{N-H}), 3060 ($\nu_{H-C=}$), 1600 ($\nu_{C=C}$), 1560 ($\nu_{C-Cap.}$) см $^{-1}$. В спектрах ЯМР ^{31}Р аминофосфонаты (**3, 4, 7, 8**) характеризируются химическими сдвигами в области 22-24 м.д. Выходы, константы и данные элементного анализа соединений (1-8) приведены в табл.

Таблица

Выходы, константы и данные элементного анализа соединений (**1-8**)

№ соед.	Выход, %	Т. пл., °С	Найдено, %				Формула	Вычислено, %			
			C	H	N	P		C	H	N	P
1	94	105-106	78,43	6,08	9,54	–	$C_{19}H_{18}N_2O$	78,59	6,25	9,65	–
2	49	179-180	78,11	5,36	7,51	–	$C_{24}H_{20}N_2O_2$	78,24	5,47	7,60	–
3	53	99-100	62,87	6,14	6,89	7,78	$C_{21}H_{25}N_2O_4P$	62,99	6,29	7,00	7,74
4	86	172-173	56,98	5,70	4,64	10,48	$C_{28}H_{34}N_2O_8P_2$	57,15	5,82	4,76	10,53
5	97	212-213	75,02	5,39	8,98	–	$C_{29}H_{25}N_3O_3$	75,14	5,44	9,07	–
6	72	79-80	73,49	5,20	7,62	–	$C_{44}H_{38}N_4O_6$	73,53	5,32	7,79	–
7	75	84-85	64,87	5,56	7,28	5,33	$C_{31}H_{32}N_3O_6P$	64,92	5,62	7,33	5,40
8	71	63-64	61,50	5,25	5,81	6,57	$C_{48}H_{50}N_4O_{12}P_2$	61,54	5,37	5,98	6,61

Аминофосфонаты (**7, 8**) с хорошими выходами были получены также при проведении реакций в трехкомпонентных системах «4-(N-α-фурилметиленамино)- и 4,4′-ди(N-α-фурилметиленамино)-3,3′-диметилбифенилы – диалкилфосфиты – N-фенилмалеинимид» в одну синтетическую стадию.

Выводы. 4-(N-α-Фурилметиленамино)- и 4,4′-ди(N-α-фурилметиленамино)-3,3′-диметилбифенилы и продукты их гидрофосфорилирования диалкилфосфитами по иминогруппе вступают в реакцию диенового синтеза с N-фенил-2,5-дигидропиррол-2,5-дионом.

Список литературы

[1] О. А. Колямшин, В. А. Данилов, С. Ю. Васильева, *Малеинимиды: синтез, свойства, биологическая активность*, Деп. ВИНИТИ, №250-В2010 от 06.05.2010.

[2] Ю. Н. Митрасов, О. В. Кондратьева, И. В. Гордеева и др., *Мат. шестой междунар.науч. школы «Наука и инновации – 2011»*, МарГУ, Йошкар-Ола (2011), 291.

[3] А. Н. Пудовик, И. В. Гурьянова, Э. А. Ишмаева, *Реакции и методы исследований органических соединений,* **19**, Химия, Москва (1968).

VII. «ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕСТВА»

ВЛИЯНИЕ ПОДЪЕМА ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, Е. С. Закамская, Г. О. Османова, М. В. Бекмансуров, Е. А. Скочилова, В. С. Воскресенский

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола,
E-mail: voskres2006@rambler.ru

In 2011, studies were conducted of vegetation in the Republic of Mari El in Cheboksary reservoir level rises to the level of 68 meters. This will flooded 44 hectares in three districts of the Republic of Mari El Gornomariyskogo, Kilemarsky and Yurinskaya. As a result, many endangered species would die plants, prairie community forest. Proposed recommendations to minimize damage vegetation in the Republic of Mari El.

Актуальность. Территория Республики Марий Эл дренируется густой сетью рек, несущие свои воды в р. Волгу. Волга течет по республике на протяжении 155 км. Волга принимает в свое русло наиболее полноводные и крупные левые притоки луговой стороны (Ветлуга, Рутка, Большая Кокшага, Малая Кокшага, Илеть) и правой горной стороны (Сура, Сумка, Юнга и Сундырь) [1].

Создание Чебоксарского водохранилища на Волге изменило ее гидрологический режим. Уровень воды реки в пределах республики поднялся на 13-15 м. Затопило приустьевые участки рек Ветлуги, Рутки, Суры, замедлилось течение рек, питающие их родники заилились, уменьшилась скорость течения воды [2].

Цель – оценка современного состояния растительного мира на территории Республики Марий Эл в зоне влияния Чебоксарского водохранилища.

Методы исследования. Исследования проводили в мае-сентябре 2011 г. Для оценки воздействия на растительность в зоне влияния Чебоксарского водохранилища при подъеме уровня до отметки 68 м осуществлялись комплексные эколого-геоботанические исследования. Для этого проводили геоботанические описания растительных сообществ (всего – 236 описаний; размер пробных площадей для лесных сообществ – 400 м^2, для луговых – 100 м^2), выявлялись фоновые виды растений, редкие виды растений, включенные в региональную или федеральную Красную книгу растений. Геоботанические описания проводились по стандартной методике [3, 4].

Результаты исследования. Исследования проводились на территории трех административных районов Республики Марий Эл: Горномарийского, Килемарского и Юринского. Флора данных районов характеризуется тем, что таежные элементы здесь заметно уступают представителям более теплолюбивых флор по сравнению с большинством других районов республики [5].

На исследованной территории обнаружено 438 видов дикорастущих сосудистых растений из 80-и семейств, что составляет около 40 % флоры Республики Марий Эл. Наиболее многочисленны по числу видов семейства Астровые (*Asteraceae*), Осоковые (*Cyperaceae*) и Мятликовые (*Poaceae*). Большое число видов семейства Осоковые (*Cyperaceae*) связано широким распространение заболоченных территорий и является, в том числе, следствием влияния Чебоксарского водохранилища. Этим же объясняется многообразие видов семейства Ивовые (*Salicaceae*), которое во флоре республики занимает лишь 17-е место. В спектре лидирующих семейств отсутствуют Капустные (Крестоцветные) (*Brassicaceae*), которое в рес-

публике на пятом месте по числу видов. Это является следствием отсутствия в районе исследования населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий [6].

Флора эпигейных бессосудистых растений (отдел Моховидные – *Bryophyta*) представлена 45 видами 19-и семейств, что составляет примерно 23 % брифлоры Республики Марий Эл. Из них 1 вид – маршанция полиморфная (*Marchantia polymorpha* L.) относится к классу Печеночники (*Marchantiopsida*), остальные – Листостебельные мхи (*Bryopsida*). Лидирующим по числу видов среди моховидных является семейство Сфагновые (*Sphagnaceae*).

Нами проведен анализ растительности на верхнем и нижнем участках Ветлужского отрога, а также правобережные и левобережные районы зоны водохранилищных плесов озерного типа.

1). В верхнем участке Ветлужского отрога от границы с Нижегородской областью, по правому берегу – до залива Мелковский, по левому берегу – до устья р. Б. Шито, распространенными растительными сообществами являются *злаково-разнотравные луга пойменного типа с широким участием разнотравья*: канареечниковые, кострецовые, осоковые.

На месте заброшенных сенокосов и пастбищ в пойме Ветлуги в настоящее время формируются *ивняки.* В ивняках, расположенных на участках прирусловой и центральной поймы с выраженными аллювиальными наносами встречается тополь черный, или осокорь (*Populus nigra* L). При этом и деревья, и подрост данного вида часто обладают высоким уровнем жизненности.

Лесные экосистемы в данной зоне представлены молодыми дубняками, осинниками, березняками и липняками, на подтопленных участках – сосняками кустарничково сфагновыми. Все эти сообщества сформировались в ходе демутации растительного покрова после расчистки ложа Чебоксарского водохранилища в 1970-80-ые годы. Участки с доминированием в древостое дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) приурочены к гривам в пойме р. Ветлуги.

Редкие охраняемые виды растений, занесенные в Красную книгу Республики Марий Эл, в верхнем участке Ветлужского рога сосредоточены на участке от автомобильного моста через Ветлугу до устья р. Люнда. Здесь произрастают бубенчик лилиелистный (*Adenophora lilifolia* (L.) A. DC.), гроздовник многораздельный (*Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr.), кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida* C. Presl) и тополь черный.

2). В нижнем участке Ветлужского отрога левый берег – от устья р. Б. Шито до оз. Большое, правый берег – от залива Мелковский до м. Липовский. Распространенными растительными сообществами на обследованных участках поймы являются сосняки зеленомошниковые, березняки, осинники и черноольшаники. Среди нелесных типов сообществ встречаются *олиготрофные кустарничково-сфагновые болота*.

Сосняки зеленомошниковые имеют, как правило, одноярусный древостой, в формировании которого помимо сосны обыкновенной принимает участие береза повислая и реже ель финская. Последняя является преобладающим видом подроста, однако численность ее невысока.

Ельники на обследованном участке встречаются редко, преимущественно на склонах террас. Широко-распространенными типами сообществ в нижней части Ветлужского отрога являются производные типы сообществ: *березняки и осинники*, сформировавшиеся после очистки ложа Чебоксарского водохранилища.

Также в заболоченных участках поймы произрастают *черноольшаники.*

Сохранившимся *фрагментом коренных широколиственных лесов* в пойме Ветлуги является липняк волосистоосоковый. Неморальные виды древостоя – липа сердцелистная (*Tilia cordata* Mill.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.).

Среди редких охраняемые виды растений, занесенные в Красную книгу Республики Марий Эл на нижнем участке Ветлужского отрога обнаружены болотоцветник щитолистный (*Nymphoides peltata* (S. G. Gmel.) O. Kuntze), кувшинка чисто-белая, сальвиния плавающая (*Salvinia natans* (L.) All.), тополь черный.

3). Район зоны водохранилищных плесов озерного типа на территории Республики Марий Эл имеет протяженность более 90 км по левому берегу р. Волги и более 60 км по правому берегу.

В связи с большой протяженностью зоны водохранилищных плесов озерного типа наблюдалось высокое типологическое разнообразие растительных сообществ. В пойменной части преобладают вторичные мелколиственные леса – березняки, осинники, чернольшанники. В связи с созданием Чебоксарского водохранилища изменился гидрологический режим долины Волги и прилегающей к ней территории Марийской низменности [7]. В связи с этим в пойменной части на значительной территории уровень грунтовых вод находится близко к поверхности почвы, произошло заболачивание, и активно идут процессы торфообразования.

На заболоченных торфяных почвах произрастают *черноольшаники*.

Широколиственные леса в левобережной части зоны плесов озерного типа встречаются крайне редко и занимают небольшие площади.

На правом берегу р. Рутка на дерновых аллювиальных почвах небольшими участками встречаются *липняки и вязовники*. *Хвойные леса* представлены в левобережной части зоны плесов озерного типа сосняками и ельниками.

В пойме р. Волги и Чебоксарского водохранилища располагаются *низовые болота, на террасах – верховые и переходные*. В левобережье зоны плесов озерного типа *луговые сообщества* встречаются, в основном около населенных пунктов.

3.а). Территория правобережной части района зоны водохранилищных плесов озерного типа зоны относится к Юго-Западному природному району [5,7]. Данный участок занимает высокое правобережье р. Волги – край северных отрогов Приволжской возвышенности. В Юго-Западном природном районе Республики Марий Эл с позднего голоцена были развиты *формации широколиственных лесов*. К настоящему времени они сохранились лишь на водораздельных склонах. Исследованы растительные сообщества, в состав которых широколиственные деревья входят совместно с березой повислой (*Betula pendula* Roth), образуя небольшие по площади колки.

В поймах на влажной дерново-глеевой тяжело суглинистой или болотной торфяной почве произрастают *чернольшаниковые или серольшаниковые колки.* В правобережной части зоны водохранилищных плесов озерного типа на территории Республики Марий Эл преобладают травяные сообщества.

Редкие охраняемые виды растений, занесенные в Красную книгу Республики Марий Эл, в зоне затопления на участке левосторонней поймы р. Волга выявлены на участке от границы с Нижегородской областью до д. Быковка. К ним относятся чилим плавающий, водяной орех, сальвиния плавающая, кувшинка чисто-белая. До образования Чебоксарского водохранилища водяной орех обитал во многих озерах волжской поймы (озера Вильное, Осиновое, Сосновое и др.). В настоящее время произрастает только на одном, зачищенном от ветра участке. Площадь популяции 0,04 га. Водяной орех, включен в Красную книгу РФ.

Сальвиния плавающая в настоящий момент, занимает тихие, небольшие по площади участки мелководий, с чистым дном.

На участке от с. Коротни до границы с Чувашской Республикой, в левосторонней пойме р. Волги, обнаружены следующие редкие, занесенные в Красную книгу Республики Марий Эл виды: баранец обыкновенный (*Huperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank et Mart.), гаммарбия болотная (*Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze), гвоздика пышная (*Dianthus superbus* L.), гроздовник полулунный (*Botrychium lunaria* (L.) Swartz), дремлик болотный (*Epipactis palustris* (Mill.) Crantz), ива лопарская (*Salix lapponum* L.), камнеломка болотная (*Saxifraga hirculus* L.), кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida* C. Presl), куманика, ежевика несская (*Rubus nessensis* W. Hall), ладьян трехнадрезный, коралловый корень (*Corallorhiza trifida* Châtel.), лосняк Лезеля (*Liparis loeselii* (L.) Rich.), мытник скипетровидный (*Pedicularis sceptrum-*

carolinum L.), мякотница однолистная (*Malaxis monophyllos* (L.) Swartz), неоттианта клобучковая (*Neottianthe cucullata* (L.) Rich.), сальвиния плавающая (*Salvinia natans* (L.) All.), тайник сердцевидный (*Listera cordata* (L.) R. Br.), тополь черый, осокорь (*Populus nigra* L.), цмин песчаный (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench).

Среди краснокнижных видов, охраняемых на территории России, являются лосняк Лезеля (*Liparis loeselii* (L.) Rich.), пальчатокоренник балтийский или длиннолистный (*Dactylorhiza longifolia* (L. Neum.) Aver.), неоттианта клобучковая (*Neottianthe cucullata* (L.) Schltr.).

На одном из участков волжской поймы, попадающих в зону затопления, сосредоточено большое количество краснокнижных видов. Это участок низинного болота с лесопокрытой частью и открытым осоко-гипновым участком, расположен при основании коренного склона древней долины р. Волга, вблизи с. Большая Арда. Здесь обнаружены редкие, охраняемые на территории Республики Марий Эл баранец обыкновенный, гаммарбия болотная, гроздовник полулунный, дремлик болотный, камнеломка козленок, ладьян трехнадрезный, лосняк Лезеля, мытник скипетровидный, мякотница однолистная, тайник сердцевидный, пальчатокоренник длиннолистный. Из них камнеломка болотная, мытник скипетровидный произрастают на территории республики только здесь.

3б). В правобережной части зоны отмечено произрастание редких охраняемых видов, занесенных в Красную книгу РФ [8]и Красную книгу Республики Марий Эл [9]. В Красную книгу РФ включен пыльцеголовник красный (*Cephalanthera rubra* (L.) Rich.), который был обнаружен в березовых и черноольшаниковых колках в пойме Чебоксарского водохранилища около д. Троицкий Посад.

В Красную книгу РМЭ включены: тополь черный, популяции которого выявлены в устье р. Сундырь и в пойме Чебоксарского водохранилища около г. Козьмодемьянска; дремлик темно-красный (*Epipactis atrorubens (*Hoffm. ex Bernh.) Besser), произрастающий в березовых колках в окрестности д. Волна; любка зеленоцветковая (*Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb.), популяции которой обнаружены в пойме р. Малая Юнга.

Популяции первоцвета крупночашечного (*Primula macrocalyx* Bunge) обнаружены в окрестности с. Владимирского. За пределами зоны ближайшее известное местонахождение этого вида – окрестности г. Казани.

На основании проделанной работы нами были разработаны *мероприятия, направленные на снижение негативного воздействия на растительный покров при подъеме уровня Чебоксарского водохранилища при подъеме до отметки 68 м*:

1. Для подготовки чаши водохранилища необходимо провести лесоочистные мероприятия с максимальным использованием находящейся на затапливаемой территории древесины. При этом валку деревьев производить в соответствии с требованиями Санитарных правил в лесах Российской Федерации (утв. приказом МПР РФ от 27 декабря 2005 г. № 350 с изменениями от 5 апреля 2006 г.).

2. Провести очистку мест рубок от порубочных остатков в соответствие с Правилами отпуска древесины на корню в лесах Российской Федерации, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации (№ 551от 1 июня 1998).

3. Провести районирование, планировку и обустройство водоохранной зоны Чебоксарского водохранилища, создать систему защитных лесных насаждений в водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах.

4. Для укрепления берегов от размыва, защиты русла от заиления и загрязнения, улучшения санитарного состояния речных вод, предотвращения размыва плодородных почв поймы, создать прирусловые лесные полосы, используя в качестве посадочного материала быстрорастущие виды деревьев и кустарников: береза повислая, ива остролистная, ива прутовидная, ива пятитычинковая, ива трехтычинковая, калина обыкновенная, липа мелколистная, ольха серая и черная, осина, смородина черная, различные виды рода тополь.

5. Провести агролесомелиоративные и защитные мероприятия на склонах водосбора. На приводораздельных склонах в зоне питания грунтовых вод создать полезащитные лесные полосы, на присетевых склонах в зоне формирования поверхностного стока – стокорегулирующие, на овражно-балочных землях в зоне питания подрусловых вод овражно-балочные насаждения (СНиП 2.01.15-90 «Строительные нормы и правила инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов»).

6. Вести регулярный мониторинг за состоянием растительных сообществ в зонах подтопления и влияния Чебоксарского водохранилища.

7. Осуществить мероприятия по сохранению популяций редких и охраняемых видов растений, обитающих в зоне влияния Чебоксарской ГЭС: переселение за пределы зоны затопления, создание банка семян.

8. Ограничить выпаса скота в пойменной части, запрещение выпаса скота в водоохранной зоне. Провести работы по оптимизации хозяйственных мероприятий, направленных на снижение ущерба растительному покрову от негативного воздействия подъема уровня Чебоксарского водохранилища.

Список литературы

[1] *Энциклопедия Марий Эл*. – Йошкар-Ола, 2009. – 872 с.
[2] *Состояние малых рек Республики Марий Эл*: межвуз. сб. – Йошкар-Ола, 1997. – 76 с.
[3] *Методы изучения лесных сообществ*. – СПб.: НИИХимии СПбГУ,: 2002. –240 с.
[4] *Основные положения по рубкам ухода в лесах России*. – М., 1993. – 64 с.
[5] *Абрамов Н.В.* Конспект флоры Республики Марий Эл. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1995. – 192 с.
[6] *Бекмансуров М.В. и др.* Современный растительный покров в зоне влияния Чебоксарского водохранилища / Материалы конференции по итогам научно-исследовательской работы биолого-химического факультета за 2011 год. – Йошкар-Ола, 2012. – С.14-17
[7] *Абрамов Н.В.* Флора республики Марий-Эл: инвентаризация, районирование, охрана и проблемы рационального использования ее ресурсов: науч. изд. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2000. – 163 с.
[8] *Красная Книга РСФСР* / Под ред. Л.В. Аверьянова. – М., 1988. – 590 с.
[9] *Красная книга Республики Марий Эл*: редкие и нуждающиеся в охране растения марийской флоры / Сост. Абрамов Н.В.; Под ред. чл. корр. РАН В.Н. Тихомирова. – Йошкар-Ола: Мар. книжн. изд-во, 1997. – 128 с.

МАРКЕРЫ ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ПИГМЕНТОВ МИКРООРГАНИЗМОВ

Д. Р. Яруллина, Е. Г. Глазунова, И. Ю. Васильев, О. Н. Ильинская

Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра микробиологии
420008 Казань, Кремлевская, 18
e-mail: yadinka@mail.ru

1. Введение. Современные масштабные потоки нефтепродуктов и обилие компаний-посредников, включая теневые, диктуют необходимость к введению мер идентификации отдельных видов топлив с возможностью мониторинга их распространения. Для этой цели в топливно-энергетической промышленности предусмотрено использование маркеров - специальных веществ, вводимых в топливо для его мониторинга. В РФ преимущественно используют хими-

чески синтезированные импортные маркеры [1]. Единственным известным маркером отечественной разработки является биомаркер на основе продигиозина – пигмента бактерий *Serratia marcescens* [2]. Нами показано, что пигменты актинобактерии рода *Agreia* также могут выступать в качестве источника топливных биомаркеров [3].

В настоящей работе проанализирована зависимость между концентрацией пигмента *Agreia* и интенсивностью спектра поглощения маркированного им топлива, на основании чего установлено минимальное количество пигмента, позволяющее надежно маркировать бензин. Также оценено влияние температуры хранения маркированных растворов и pH анализируемого образца на спектральные характеристики пигмента.

2. Материал и методы исследования. В работе использовали актинобактерии Agreia bicolorata ВКМ Ac-1375, предоставленные ИБФМ РАН им. Г.К. Скрябина. Клетки выращивали 72 ч на плотной коринебактериальной среде (КБА) при 28оС. Пигменты экстрагировали, как описано в [4], с помощью смеси н-гексан : этанол (1 : 2), затем разделяли фракции центрифугированием и супернатант упаривали досуха. Из получившегося кристаллического пигмента готовили растворы в бензине АИ 95 с известной концентрацией 0,1-10 мкг/л. В эксперименте по определению термостабильности пигмента маркированные бензины хранили при температуре –30, –15, +4, +15, +30, +60оС в течение 1-8 сут. Спектры пигмента при различной кислотности среды (pH 2, pH 7, pH 9) получены в спиртовых растворах. Маркированные растворы анализировали на спектофотометре Lambda 35 (Perkin Elmer, США) при 300-1000 нм.

3. Результаты и их обсуждение. У актинобактерий A. bicolorata нами обнаружены пигменты, которые могут быть использованы в качестве маркеров нефтепродуктов, поскольку они характеризуются растворимостью в бензине и наличием специфического спектра поглощения, не перекрывающегося со спектрами поглощения других компонентов топлива [3]. Настоящая работа развивает имеющиеся данные о способе использования микробного пигмента для маркировки бензина. Проанализировав спектры поглощения растворов пигментов в бензине в диапазоне концентраций от 0,1 до 10 мкг/л, мы установили, что минимальное количество пигмента, которое может быть количественно и качественно определено в топливе спектрофотометрически, составляет 0,5 мкг/л (рис. 1). Количество продигиозина – единственного запатентованного маркера нефтепродуктов на основе пигментов микроорганизмов, необходимое для маркировки 1 л бензина, равно 1,2-9,3 мкг [2], что сопоставимо с нашими данными по новому пигменту. Таким образом, пигменты A. bicolorata, используемые в качестве биомаркера топлива, характеризуются постоянной и низкой пороговой дозой обнаружения.

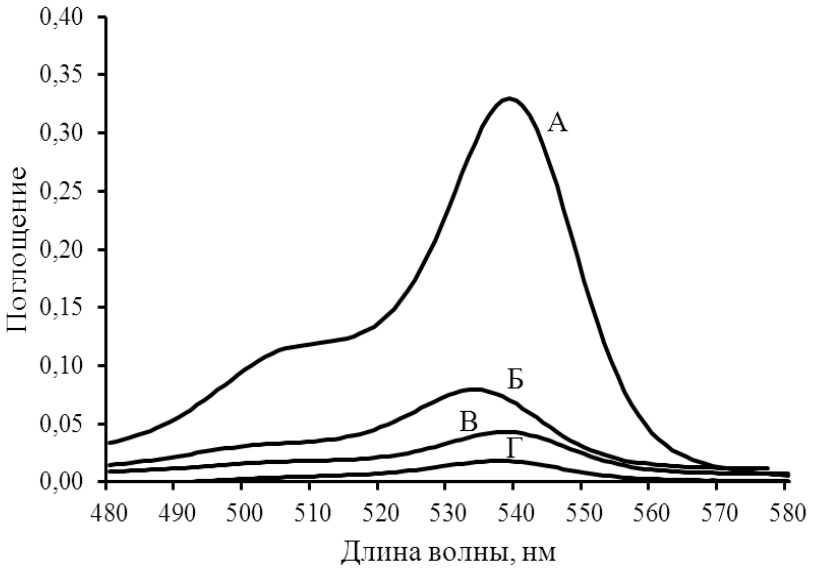


Рис. 1. Спектры поглощения бензина, маркированного различными концентрациями пигмента *A. bicolorata* Ac-1375: (А) – 10 мкг/л; (Б) – 5 мкг/л; (В) - 1,25 мкг/л; (Г) - 0,625 мкг/л.

Полученные результаты (рис. 1) демонстрируют четкую зависимость между концентрацией пигмента *A. bicolorata* и интенсивностью поглощения спектра маркированным им топливом, что крайне важно для маркеров, поскольку одним из направлений их применения является определение степени разбавления топлива [1]. Открытый пигмент относится к так называемым индикационным маркерам,

то есть выявляется с помощью оптической аппаратуры (сканирующего спектрофотометра) и не требует добавления реагентов-проявителей, что также выгодно отличает его от маркера на основе продигиозина, который требует для идентификации нефтепродукта добавления в пробу проявляющего реактива – соляной кислоты [2]. Тем не менее, отмечено сходное с продигиозином изменение интенсивности пиков поглощения света с $\lambda = 540$ нм при изменении pH раствора. Аналогично продигиозину, пигмент *A. bicolorata* Ac-1375 в кислой среде демонстрирует наибольшую интенсивность поглощения по сравнению с растворами с pH 7 и pH 9 [5] (рис. 2). Следовательно, возможно снижение пороговой дозы обнаружения пигмента при снижении pH образца топлива.

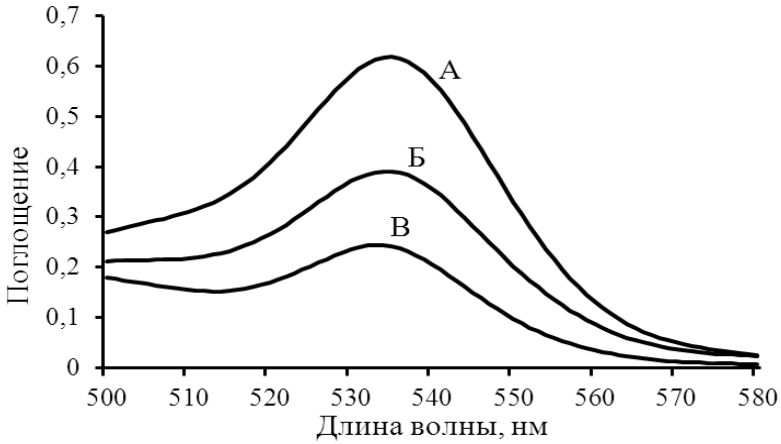


Рис. 2. Спектры поглощения 96%-ого этанола с pH 2 (А), pH 7 (Б) и pH 9 (В), маркированного пигментом *A. bicolorata* Ac-1375.

Сравнив спектры поглощения маркированных образцов топлива, хранившихся в течение 1-8 сут. при различных температурах (от -30°C до +60°C), со спектрами свежеприготовленных растворов, показали, что в исследованном диапазоне спектральные характеристики пигмента являются термостабильными.

Таким образом, в ходе анализа свойств пигмента *A. bicolorata* мы обнаружили ряд качеств, определяющих его перспективность как маркера нефтепродуктов, а именно: низкая и постоянная пороговая доза обнаружения и возможность количественного спектрофотометрического определения, а также термостабильность. Дальнейшее развитие данной разработки открывает широкие возможности использования ее результатов для контроля за распределением и потреблением нефтяного сырья и продуктов его переработки.

Работа выполнена в рамках темы «ППР 219» по проекту «Комплексное развитие объектов инновационной инфраструктуры Казанского федерального университета». Авторы выражают благодарность Л.В. Дорофеевой (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН, г. Пущино) за предоставленный штамм *Agreia*.

Список литературы

[1] T. Wilkinson, D.A. Moxam Review of Fuel Marker Programs to Identify and Control Fraud [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://www.saeindia.org/ Control/download_file/12~22~2008~12~26~41~PM/052.pdf, свободный. – Проверено: 08.04.2012.
[2] А.З. Гарейшина, Е.В. Петухова, Д.В. Юсупова, Н.А. Лебедев, Т.Н. Чертилина и А.З. Пономарева Композиция, включающая нефтепродукт и маркер, способ и раствор для маркирования нефтепродукта, способ идентификации нефтепродукта и способ получения маркера // Патент на изобретение RU № 2218381, C10L1/00, C10M159/02, C10N30:20, Приоритет от 22.07.02. – 2003. Бюл. №34.
[3] Е.Г. Глазунова, Д.Р. Яруллина и О.Н. Ильинская, Ученые записки Казанского университета. Сер. Естеств. науки. 153(2) (2011) 96-99.
[4] С.М. Трутко, Л.В. Дорофеева, Д.Н. Островский и М. Хинтц, Микробиология. 74(3) (2005) 335-341.
[5] W.A. Ahmad, W.Y. Wan Ahmad, Z.A. Zakaria, N.Z. Yusof, Application of bacterial pigments as colorant: the Malaysian perspective, Springer (2012).

VIII. «ПРОБЛЕМЫ ГУМАНИТАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПРАСЕГМЕНТНЫХ ЗВУКОВЫХ СРЕДСТВ

З. Г. Зорина

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»

1. Производство речевых звуков. При производстве речевых звуков акустическая модуляция воздушного потока может осуществляться тремя способами. Соответственно выделяются три типа источников шума: *голосовой, турбулентный* и *импульсный.* В речи наиболее мощным источником звука являются голосовые связки (голосовой источник звука).

В качестве единственного источника они участвуют в образовании гласных и сонорных согласных. С акустической точки зрения колеблющиеся голосовые связки представляют собой тонко управляемый клапанный механизм: периодически они закрывают и затем открывают проход потоку воздуха через голосовую щель, превращая его в последовательность воздушных толчков (импульсов). Каждый голосовой импульс, действуя на воздух, находящийся над связками, создает в речевом тракте звуковую волну, т. е. выступает по отношению к нему в качестве внешней, вынуждающей силы. Последовательность воздушных толчков, возникающих в результате колебания голосовых связок, называется ***глоттальной волной,*** или просто ***голосом***. Глоттальную волну принято описывать как изменение *объемной скорости* (англ.*, volume velocity*) воздушного потока, проходящего через колеблющуюся голосовую щель [2, с. 105].

Естественным и наиболее удобным для человека способом голосообразования является нейтральная фонация. Слуховое ощущение, которое возникает от звука, создаваемого голосовыми связками, можно описать как гудение или гул.

Однако голос является сложным периодическим звуком, который может быть представлен в виде суммы простых синусоидальных колебаний – ***гармоник.*** Иначе говоря, *спектр голосового источника* состоит из набора простых составляющих, частоты которых относятся как целые числа. Первая гармоника голосового спектра, называемая *основным тоном,* имеет частоту, обратную периоду глоттальной волны, F_0=l/T. Частота основного тона F_o называется также *основной частотой голоса*. Она равна частоте колебаний голосовых связок. Частоты остальных гармоник, или *обертонов,* в целое число раз больше частоты основного тона. В общем виде частота гармоник голосового источника задается произведением **n** $\mathbf{F_0}$, где **n** – натуральное число, равное номеру гармоники в спектральном разложении глоттальной волны.

Форма голосового импульса находит непосредственное отражение в *огибающей спектра* голосового источника (англ. *spectral envelope*), т. е. кривой, соединяющей амплитуды последовательных гармоник.

Спектральная огибающая характеризует относительный вклад гармоник в общую энергию голосовых колебаний. При этом основной тон является самой интенсивной гармоникой голоса, а амплитуды обертонов быстро убывают. Такое соотношение характерно не только для нейтральной фонации, но и для других типов голосовых колебаний, однако скорость убывания амплитуды гармоник может быть разной. Для учета этих различий вводится понятие ***наклона спектральной огибающей*** (англ.*, spectral tilt*), который показывает, с какой скоростью уменьшается амплитуда гармоник при увеличении частоты. При нейтральной фонации со средним голосовым усилием огибающая спадает со скоростью, равной приблизительно – 12 дБ на октаву. Это означает, что при увеличении частоты в два раза амплитуда

гармоник уменьшается в четыре раза. Таким образом, энергия низкочастотной части голосового спектра значительно превосходит энергию высокочастотной области.

Скорость спадания спектральной огибающей отражает разные особенности голосового поведения говорящих: от степени голосового усилия и громкости речи до различий в типе фонации, которые могут быть обусловлены индивидуальным тембром голоса, ***эмоционально-психологическим состоянием говорящего*** в момент речи или имеющимися в языке фонационными противопоставлениями.

Необходимо отметить, что на самом деле голосовые колебания не являются строго периодичными. Во-первых, в речи наблюдаются случайная вариативность как периода последовательных голосовых импульсов (так называемый ***джиттер-эффект*** от англ., *jitter* – «дрожание»), так и амплитуды (***шиммер-эффект*** от англ., *Shimmer* – «мерцание». Во-вторых, происходят систематические, хотя и довольно медленные изменения, обусловленные лингвистическими факторами, например, интонацией, ударением, или же экстралингвистическими причинами, например, ***эмоциональным или физиологическим состоянием говорящего.*** Акустические параметры голоса существенны для восприятия. Они участвуют в передаче различной информации, важной для речевого общения. Наиболее разнообразную нагрузку имеет основная частота F_0 глоттальной волны, которая определяет воспринимаемую в*ысоту голоса:* чем больше F_o, тем выше голос, и наоборот. В потоке речи у одного и того же говорящего основная частота может значительно меняться, отражая такие важные характеристики речевого сообщения, как интонация, наличие логических ударений и даже просто состав слов. *Диапазон* возможных изменений F_o достаточно велик. Для взрослого человека он составляет около полутора – двух октав. В то же время для каждого отдельного человека существует наиболее удобный и привычный режим работы голосовых связок. Основная частота, соответствующая этому режиму, называется *базовой* или *нейтральной* (англ. *modal* F_o).

Базовая частота говорящего расположена в области, приблизительно соответствующей одной третьей (или четвертой) части его голосового диапазона, считая от нижней границы. Голоса разных людей существенно отличаются базовыми частотами. Ведущую роль в этих различиях играют половые и возрастные признаки говорящих. Это легко объяснить, если вспомнить, что основная частота голоса зависит от таких параметров голосовых связок, как степень упругости, длина и масса. Несмотря на большую индивидуальную вариативность базовых частот и границ голосового диапазона, можно выделить их типовые значения с учетом пола и возраста говорящего. Так, для мужских голосов средняя базовая частота равна приблизительно 130 Гц, для женских – 260 Гц. Для диапазона мужского голоса типичен интервал 80-200 Гц, для женского – 150-400 Гц, для детских голосов (в сильной зависимости от возраста) – 200-500 Гц.

Получение акустических данных (особенно спектральных) о работе голосового источника в речи сопряжено с большими трудностями, поскольку в результирующем речевом сигнале спектр голосовых колебаний всегда модифицирован резонансной системой речевого тракта. Чтобы выделить характеристики голосового источника, надо «вычесть» из речевого сигнала вклад передаточной функции речевого тракта. Для этого используются специальные методы обработки сигнала (так называемая *обратная фильтрация).*

2. Акустическая база интонационных звуковых средств. Слуховые контрасты между звуковыми сегментами акустически базируются на различиях в их спектрах, которые, в свою очередь, обусловлены типами источников звука и конфигурацией речевого тракта. Различия в таких показателях, как собственная длительность, интенсивность и основная частота голоса при производстве звуков разного качества, естественно, присутствуют и вносят определенный вклад в результирующее звучание. Однако эти различия незначительны и, как правило,

производны от основных признаков целевых артикуляций. Иными словами, говорящий не контролирует их независимо от основной артикуляции звука.

Напротив, именно длительность, интенсивность и основная частота голоса выступают в качестве главных контролируемых параметров, на базе которых создаются и реализуются интонационные противопоставления. Из-за такого доминирующего использования указанные акустические параметры тоже называют интонационными (*просодическими*).

В эмоционально окрашенной речи в качестве интонационных (*супрасегментных*) средств могут использоваться и разные типы фонации, меняющие тембр голоса, и специфические артикуляционные установки (разные речевые позы или артикуляционные тембровые окраски речи). Существование специфических артикуляционных установок было замечено уже давно. Еще в начале века С.Волконский в книге «Выразительное слово» отмечал: « У нас есть трагически бытовой тон на Ы: « А ты, быярин, зныешь ли…». Этот весь в гортани. А то есть тон элегантной непринужденности – на Э: «Здрэвствуйте, дэрэгэй Иван Иванович…». Этот говор весь в челюстях. Есть тон барышни-жеманницы – на У: «Ну, чту это такуе…». Этот весь на губах [1,4].

Различия в типах фонации акустически отражаются в спектре голосового источника, разные артикуляционные установки влияют на конфигурацию речевого тракта и его резонансные свойства. В обоих случаях физической базой *просодических тембровых различий* являются интегральные спектральные характеристики, получаемые путем усреднения спектральной картины протяженных речевых отрезков (англ., *long-term spectrum* – «долговременный спектр»).

В акустической фонетике существуют свои методы и средства получения акустических данных для каждого из просодических параметров. При этом необходимо отметить, что жесткого разделения акустических параметров по их использованию в области сегментных или супрасегментных (интонационных) явлений нет, хотя говорить о преобладающих тенденциях все-таки можно.

Сведения о *длительности* тех или иных речевых отрезков, в том числе и отдельных звуков, требуют предварительной ручной сегментации речевого сигнала (на основе осциллограмм и/или спектрограмм). К сожалению, эти данные не могут быть в настоящее время получены автоматически из-за отсутствия достаточно надежных автоматических методов фонетической сегментации речи.

К важным элементам речевого потока относятся также *паузы,* которые образуются в результате намеренных остановок в процессе артикуляции. Они возникают обычно на границах достаточно протяженных речевых отрезков — между отдельными предложениями или их распространенными смысловыми фрагментами.

Данные об *интенсивности* речевых отрезков получают путем измерения мгновенных амплитудных значений речевого сигнала, их выпрямления (возведения в квадрат) и усреднения на определенном временном интервале. Для этой процедуры могут использоваться как специальные приборы, так и компьютерные программные средства, которые обрабатывают оцифрованный сигнал. Важным параметром измерения интенсивности является время усреднения исходных амплитудных значений, которое в современных компьютерных программах анализа речи может выбираться в диапазоне от 5 до 50 мс (в зависимости от задач исследования). Чаще всего используется временной интервал около 20 мс: он достаточно короткий для того, чтобы можно было зафиксировать небольшие изменения интенсивности в пределах отдельных звуков, и достаточно длительный, чтобы сгладились модуляции интенсивности, вызванные периодичностью вокальных отрезков сигнала. Кривая, отражающая изменение интенсивности во времени при произнесении речевого отрезка, называется *контуром,* или *огибающей, интенсивности.*

Информацию об *основной частоте* F_o речевых отрезков получают на основе анализа формы речевой волны. Это требует выделения и измерения длительности последовательных

голосовых периодов в сигнале. Такие измерения могут быть сделаны вручную, но чаще для этого используют специальные приборы, называемые *интонографами,* или компьютерные программы. Ни один из существующих автоматических методов измерения основной частоты не является совершенным. На это есть объективные причины — периодичность вокальных звуков со строгой физической точки зрения достаточно условна: последовательные периоды подвержены небольшим случайным флуктуациям как по длительности, так и по форме колебаний. Форма и длительность голосовых периодов быстро меняется на участках переходных коартикуляционных процессов, при интонационных перестройках и т. д. Поэтому при использовании конкретных средств выделения и анализа основной частоты необходимо знать их технические ограничения. В компьютерных программах обычно предлагается выбор из нескольких возможностей, которые связаны с использованием разных процедур сглаживания (усреднения) исходных данных, настройки амплитудных порогов, общего диапазона возможного изменения F_o и пр. Это позволяет выбрать такой режим анализа, который для данного говорящего дает минимально количество сбоев. В результате анализа с предварительной «ручной» настройкой получается кривая изменения основной частоты во времени, которая называется также *контуром частоты основного тона* (сокращенно ЧОТ), *мелодической кривой* или *интонограммой.*

3. Акустические корреляты фразовой интонации. В области ***фразовой интонации*** (в широком понимании этого термина), все просодические параметры «работают» очень активно, хотя и с разной нагрузкой. Наиболее нагруженной является частота основного тона (ЧОТ). Фразовый контур ЧОТ отражает возможности управления всеми параметрами голосовых связок, которые определяют высоту голоса, тип фонации и степень общего голосового усилия.

Фразовые просодические средства могут использоваться в речи двумя способами: интегрально – как общая характеристика протяженных речевых отрезков и локально – в тесной соотнесенности с ударными слогами отдельной фразы.

Интегральное использование обусловлено общими установками произнесения, такими, как общий темп, громкость, высотный регистр голоса, ширина используемого голосового диапазона, ориентация на полный/небрежный тип произнесения. Для каждой из этих характеристик можно выделить опорный акустический параметр, однако в речи все просодические параметры определенным образом взаимодействуют между собой.

Общий темп связан с длительностью фразы и составляющих ее звуковых элементов – звуков и слогов. При контролируемом убыстрении темпа происходит относительное сокращение средней длительности звука и слога во фразе, при замедлении эти показатели возрастают. Необходимо отметить, что изменения значений просодических параметров могут оцениваться двумя способами: 1) относительно величин, которые характеризуют нормальные (немаркированные) условия произнесения; 2) относительно аналогичных показателей в разных речевых отрезках, для которых вопрос о нормальности/маркированности не существен. По-другому, показатели темпа могут оцениваться как относительно показателей, характеризующих нормальный темп произнесения, так и относительно показателей любых отрезков, которые не оцениваются с точки зрения реализации в них какого-либо определенного темпа. Аналогично интерпретируются и остальные просодические характеристики.

Громкость соотносится прежде всего с интенсивностью. Различия в громкости обусловлены, как правило, разной степенью голосового усилия. Поэтому при изменении громкости меняются также состояние голосовых связок и спектр голосовых колебаний, а это влияет как на основную частоту голоса, так и на спектральную картину звуков. При более громком произнесении возрастают показатели средней и максимальной интенсивности сигнала, F_o изменяется в более высоком и широком голосовом диапазоне, F-картина гласных выражается более отчетливо.

Регистр и *диапазон* изменения высоты голоса при произнесении отрезка речи влияют на такие показатели контура основной частоты, как среднее значение F_o и величина модуляции относительно среднего, измеренная либо на протяжении всего отрезка речи, либо на его ударных слогах.

Локальное использование просодических средств (через ударные слоги слов) более разнообразно и функционально существенно. Фразовая просодия, подобно слогу в тональных языках, располагает своей системой *тонов (тональных фигур),* которые физически могут различаться направлением, размахом и скоростью изменения F_o, расположением относительно границ голосового диапазона и относительно границ ударного слога, в окрестности которого реализуется *фразовый тон.* В его реализации могут участвовать и такие параметры, как интенсивность и длительность элементов ударного слога. Из-за тесной связи фразовых тонов ударными слогами их называют также *фразовыми тональными акцентами* (или фразовыми акцентными тонами).

Кроме того, во фразовой просодии используются и специальные средства *особого* подчеркивания *(смыслового акцентирования)* слов, как тех, которые уже несут фразовый тональный акцент, так и тех, которые не отмечены фразовым тоном. Теоретически разных способов подчеркивания может быть много: важно, чтобы при этом слово произносилось иначе, чем обычно. Однако существуют и стандартные способы. К ним относится прежде всего *увеличение голосового усилия* при реализации ударного слога подчеркиваемого слова. Такое локальное усиление имеет несколько акустических следствий – возрастание интенсивности, увеличение интервала тонального движения и изменение его расположения относительно ударного гласного, увеличение длительности, увеличение яркости F-картины и ее обогащение за счет появления более высоких формант.

4. Интонационное оформление эмоциональной речи. Эмоциональную окраску благодаря интонации может иметь любое предложение; в ее создании участвуют все интонационные средства. Значительно изменяются мелодические признаки: увеличивается диапазон, а тональный контур становится более сложным и изрезанным, увеличиваются и интервалы между ударными и безударными слогами. Модифицируется временная структура высказывания: темп нередко замедляется, гласные могут удлиняться, а согласные сокращаться. Динамические характеристики всех слогов выравниваются, общая интенсивность часто увеличивается. Членение фразы становится более дробным.

Предложения разных коммуникативных типов с яркой эмоциональной окраской нередко имеют мелодический контур, далекий от типичного при нейтральном произнесении. Эмоциональное сообщение получает восходящую мелодику вместо нисходящей (или восходяще-нисходящей, встречается и нисходяще-восходящий контур). Аналогичным образом могут интонироваться и оценочные предложения, произнесенные с дополнительной эмфазой.

Категорическое утверждение, в отличие от нейтрального, характеризуется значительным нисходящим интервалом между последним (предпоследним) и предшествующим слогом. Общие вопросы с дополнительной эмоциональной окраской могут завершаться на одном из нижних уровней и получать дополнительную модуляцию тона в конце. Очень разнообразной становится интонация обращений в начале фразы и в изолированной позиции.

Характерным признаком общей эмоциональной окрашенности речи является подъем голоса до сверхвысокого (5-го) уровня; в высказываниях из нескольких акцентных групп (синтагм): этот уровень может достигаться неоднократно

Разная степень изменения всех супрасегментных признаков, их различное сочетание и взаимодействие с лексикой и синтаксической структурой предложения создает неисчерпаемое многообразие эмоциональных оттенков речи. Состояние исследований в этой области не позволяет сколько-нибудь полно рассмотреть интонации, отражающие ту или иную эмоцию, и представить их в систематизированном виде, можно только описать особенности интонирования фраз с некоторыми эмоционально-модальными значениями.

П. Делаттр включил в свою систему особую мелодическую модель, которую он назвал импликацией и которая, по его мнению, придает высказыванию нередко трудно определимое дополнительное значение, некий подтекст, конкретная интерпретация которого во многом зависит от контекста и ситуации [5,6]. По П. Делаттру, мелодика импликации имеет в целом восходящий контур. Она начинается на среднем тоне (2-й уровень), достигает своей верхней точки (4-й уровень) за один-два слога до конца синтагмы, на некоторое время сохраняется достигнутая высота, а затем происходит понижение тона (почти до 3-го уровня). Интервал подъема достигает септимы – октавы (2-4-й уровни), а конечное понижение осуществляется в пределах приблизительно малой терции – около полутора тонов [5,6,7].

Удивление передается мелодическим контуром, сходным с контуром общих вопросов, который имеет, однако, более высокое завершение и потому увеличенный (примерно в 1,25 раза) диапазон. На предпоследнем слоге почти всегда происходит понижение тона, благодаря чему увеличен (почти в 1,5 раза) и интервал завершающего фразу повышения. Кроме того, по сравнению с общими вопросами темп этих фраз слегка замедлен (но остается выше, чем в повествованиях), а интенсивность несколько увеличена; характерно сохранение довольно большой интенсивности до самого конца фразы (в отличие, прежде всего, от нейтральных повествований).

Настойчивость имеет общий мелодический контур, сходный по рисунку и диапазону с нейтральным повествованием, но в более высоком регистре, с более значительным повышением тона на смысловом центре и с завершением вблизи 2-го уровня. Фразы, выражающие это дополнительное значение, характеризуются почти вдвое замедленным темпом, главным образом за счет растягивания безударных слогов (а следовательно, и малыми темпоральными контрастами внутри фразы), и значительным увеличением и выравниванием интенсивности всей фразы.

Раздражение выражается в интонации с сильно изрезанным мелодическим контуром, диапазон которого увеличен за счет повышения тона ударных слогов (доходящего до сверхвысокого 5-го уровня); низкие же безударные слоги могут реализоваться на 2-м уровне. При этом на всех гласных наблюдается модуляция голоса. В отличие от повествования, первый слог, вне зависимости от его нормальной ударности или безударности, произносится на высоком тоне, а завершается контур вблизи 3-го уровня или выше. Темп речи при этом ускорен, а интенсивность увеличена.

Гнев можно рассматривать как более высокую степень проявления той же эмоции, и, действительно, интонационные признаки фраз с этими эмоциями сходны [3].

Радость интонационно выражается в повышении общего регистра фразы, при достаточной изрезанности контура линия деклинации не обнаруживается, и ударные слоги могут иметь одинаковую высоту; в конце же тон сильно понижается. По сравнению с нейтральным повествованием мелодический диапазон фразы увеличен, а темп замедлен, интенсивность несколько повышена.

Грусть – эмоция, противоположная радости, – выражается в изменении признаков интонации в противоположном направлении: понижение общего регистра и узкий диапазон фразы, ослабление интенсивности и замедление темпа [46, 187].

Несмотря на далеко не полное описание интонаций, характерных для той или иной эмоции, есть и попытка определить интонационные признаки, дифференцирующие выражение некоторых эмоций. Так, французский лингвист П.Леон описанные выше эмоциональные интонации выразил следующим образом (см. табл.) [7].

В таблице знаки «+» и «—» указывают соответственно на более высокие/более низкие значения по сравнению с нейтральным произнесением; по признаку «контур» имеется в виду степень его изрезанности.

Таблица

Интонационная дифференциация эмоций (по П. Леону)

Признаки	Нейтральное произнесение	Эмоции			
		Гнев	Грусть	Радость	Удивление
Регистр		+	—	+	
Интервал		0	—	+	+
Контур		+	—	+	+
Интенсивность		+		+	—
Контраст по интенсивности		+	—	+	—
Длительность фразы		—	—	+	—

В целом по акустическим характеристикам фразы с разной эмоциональной окраской в неодинаковой степени отличаются от нейтрального произнесения, поэтому в отсутствие контекста и ситуации эмоции опознаются с разной степенью уверенности. При этом само наличие эмоциональной окраски узнается легко, но определение характера эмоций нередко оказывается ошибочным. Из перечисленных выше эмоциональных коннотаций носители, например, французского языка лучше всего опознают удивление, настойчивость, печаль и очень плохо – радость. Для носителей же русского языка узнавание всех этих эмоций, в отсутствие ситуации и контекста, оказалось затруднительным. Таким образом, русские должны особенно внимательно и критически относиться к своим оценкам эмоциональной окраски слышимого.

Что же касается воспроизведения эмоциональных интонаций, то, хотя некоторые их характеристики являются общими для французского и русского языков (увеличение интенсивности при раздражении, гневе и ослабление ее при грусти, повышение тона при удивлении, узкий диапазон при грусти) между обоими языками есть и существенные различия.

Русские нейтральные интонации нередко воспринимаются французами как ярко эмоционально окрашенные. Поддаваясь привычкам, воспитанным родным языком, русские рискуют быть неправильно понятыми.

Список литературы

1. Волконский С. Выразительное слово. - СПб., 1913.
2. Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф. Общая фонетика: Учебник. – М., 2001.
3. Ленца Д.Л. Супрасегментные и сегментные характеристики вопросительного предложения в эмоционально-окрашенной речи: Автореф. канд. дис. – М., 1977.
4. Светозарова Н.Д. Интонационная система русского языка. - Л., 1982.
5. Delattre P. Les dix intonations de base du français//The French Review, 1966. T. XL.N 1.
6. Delattre P. La nuance de sens par l’intonation//The French Review, 1967. T. XL.N 3.
7. Leon P.-R. Systematique des fonctions expressives de l’intonation//Analyse des faits prosodiques. Studia phonetica III. – Montreal, Paris, 1970.

СЕГМЕНТАЦИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

А. И. Орлов[1], И. И. Попов[2], В. А. Козлов[3], З. Г. Зорина[1]

[1]ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», 424000, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, 15;
[2]ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»;
[3]ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева», 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38
e-mail: karlorlov@gmail.com

Предложен и программно реализован алгоритм автоматического поиска анализируемых слов в произвольной тестовой фразе и ее сегментации на основе корреляции спектрограммы этой фразы с эталонной спектрограммой. Поиск и сегментация дает возможность точно определять участок речевого сигнала для дальнейшего анализа.
Proposed and software implemented the algorithm for automatically search of analyzed words in a free test phrase and its segmentation based on correlation of phrase spectrogram and reference spectrogram. Search and segmentation allows to accurately determine the section of speech signal for further analysis.

1. Введение. Во многих отраслях деятельности человека требуется безошибочность действий, высокая концентрация и внимание, например, оперативное диспетчерское управление работой электросетей, контроль и обслуживание воздушного движения с диспетчерского пункта, вождение общественного транспорта и др. Обеспечение устойчивой работоспособности человека в этих условиях и подбор оптимального режима интеллектуальной или физической нагрузки требует контроля психоэмоционального напряжения человека. Цель исследования состоит в разработке алгоритмов распознавания психоэмоционального и/или интеллектуального перенапряжения людей, на основе которых планируется программно-аппаратный комплекс автоматической оценки адекватности интеллектуальной или физической нагрузки на человека. Ожидается, что результаты работы также будут полезны в спорте для оценки резервных возможностей спортсменов, сфере образования, медицины и других.

2. Возможность контроля звуковых сигналов. Голос человека является сложным звуком, отдельные временные отрезки которого можно разложить в спектр. Первую гармонику голосового спектра называют основной частотой или основным тоном голоса. Основной тон голоса является, как правило, самым интенсивным. Амплитуды остальных гармоник меньше и падают с увеличением частоты, т.е. энергия низкочастотной части спектра выше, чем высокочастотной. Кривая, соединяющая амплитуды последовательных гармоник в спектре определенного отрезка голоса, называется спектральной огибающей [1, 2, 3].

Принципиальная возможность контроля психоэмоционального перенапряжения человека обусловлена тем, что человек способен контролировать, прежде всего, основную артикуляцию и в меньшей степени интенсивность, длительность и основной тон голоса. В литературных источниках имеются сведения, что эмоционально-психологическое состояние человека может быть связано с наклоном спектральной огибающей и флуктуациями («дрожанием») частоты и амплитуды по спектрограмме.

Известны программно-аппаратные комплексы для определения усталости или степени утомления человека, основанные на анализе психомоторной реакции пациентов на свет и звук. Реакция отдохнувшего человека быстрее, чем в случае усталости.

3. Структура программы и алгоритм сегментация речевых сигналов. Задача определения психоэмоционального состояния человека осложняется тем, что получение информации о длительности речевых отрезков, в том числе отдельных звуков, как правило, требует предварительной ручной сегментации речевого сигнала с применением осциллограмм и/или

спектрограмм [4]. В настоящее время отсутствуют достаточно надежные алгоритмы автоматического выделения отдельных звуков в непрерывной, заранее неизвестной речи человека. При анализе речевых сигналов обнаружена значительная вариативность спектра отдельных звуков, соответствующих буквам слов. Это связано с тем, что спектрограмма слова представляет собой непрерывное и плавное изменение гармоник звукового сигнала. Автоматическое выделение отдельных звуков в слове в автоматическом режиме затруднительно, поскольку спектр одного и того же звука, произносимого одним человеком в спокойном состоянии, в разное время может существенно различаться. Кроме того, отдельный звук в слове или фразе несет недостаточно информации для оценки психоэмоционального состояния человека. Решением этой проблемы может быть сопоставление спектров всего слова вместо составляющих его отдельных звуков.

С целью надежной сегментации речевых сигналов в разрабатываемой программе реализована возможность автоматического поиска анализируемых слов в произвольной тестовой фразе на основе сопоставления спектрограмм тестовой фразы и эталона. Поиск слова дает возможность точно определять участок речевого сигнала для дальнейшего анализа даже при измененном порядке слов в тестируемой фразе.

Предложена и реализована следующая общая структура программы анализа и сегментации звуковых сигналов, включающая следующие блоки.

1. Блок записи звука и первичной обработки входных данных. Назначение блока состоит в получении исходных звуковых файлов и их параметров (число каналов, количество байт на семпл, частота фреймов, вид компрессии) и преобразовании его в структуру данных, удобную для обработки. Блок выполняет запись звуковых файлов или принимает внешний файл. Рекомендуемые параметры входного файла: формат данных – wav без компрессии; число каналов – 1 (моно); 2 (или более) байт на семпл; частота фреймов – 44100 Гц или выше. Полученный файл анализируется, в результате чего определяется его параметры, и выделяются аудиоданные. Параметры файла включат в себя число каналов, количество байт на семпл, частоту фреймов, вид компрессии. Аудиоданные представляют собой одномерные массивы целочисленных значений (int) для каждого канала. Каждый семпл в исходном аудио-файле обычно кодируется 2 или 3 байтами соответственно для 16 или 24-битного звука. Амплитуда значений каждого элемента в массиве составляет 2^{n-1}, т.к. один бит используется в качестве знакового. Таким образом, диапазон значений каждого элемента массива лежит в пределах [–32768; 32768] при 16-битном звуке и [–8388608; 8388608] при 24-битном звуке.

2. Блок сегментации речевых сигналов. Вычисляется спектрограмма звукового сигнала, для чего последовательно вычисляются спектры коротких блоков данных, идущих друг за другом с перекрытием между собой. Так, получение удовлетворительной спектрограммы звукового сигнала для дальнейшего анализа при частоте фреймов 44100 Гц может быть получено при длине каждого блока данных 512–1024 семпла и шаге 128–512 семплов. В качестве оконной функции использовано окно Хеннинга. Результатом вычисления спектрограммы сигнала являются одномерный массив частот, одномерный массив времени (в семплах или фреймах) и собственно спектрограмма в форме двумерного массива. Для дальнейшего анализа выбирается амплитудное значение гармоник, сдвиг фаз каждой гармоники не учитывается.

Поскольку анализу подвергается спектр голоса человека, полученная спектрограмма может быть ограничена диапазоном частот от 100–200 Гц до 3,0–6,0 кГц. Удовлетворительные результаты в эксперименте получены при ограничении спектрограммы диапазоном 180–6000 Гц. На основе данных спектрограммы вырезаются отдельные слова, принимаемые за эталон. Выделение эталонных слов выполняется в автоматическом режиме по суммарной амплитуде спектральных гармоник указанного диапазона частот в каждый момент времени. Результатом выделения эталонных слов являются отрезки спектрограммы, а также одномерные массивы частот и времени, соответствующие каждому слову. Эталонные отрезки спектрограмм могут быть использованы для поиска слов с близкой спектрограммой в произволь-

ной фразе. Для анализируемой тестовой фразы выполняется анализ входного файла и вычисление спектрограммы аналогично обработке эталонных слов. Алгоритм поиска и сегментации слов в произвольной тестовой фразе основан на вычислении корреляции спектрограммы этой фразы с эталонной спектрограммой. Из спектрограммы тестовой фразы и эталона последовательно обрабатываются амплитуды гармоник одной и той же частоты во времени. Вычисляется функция корреляции одномерного массива амплитуд каждой гармоники во времени с одномерным массивом амплитуд гармоник той же частоты из эталонной спектрограммы. В момент времени, соответствующий наибольшему совпадению амплитуды эталона и тесового сигнала на каждой частоте отмечается пик. Характерной особенностью является то, что окрестности пика имеют локальную осевую симметрию относительно него в диапазоне половины длительности эталонной спектрограммы. Левая и правая окрестности пика тем симметричнее, чем большее подобие имеют амплитуды гармоник каждой частоты тестовой фразы и эталона. Поскольку искомое слово в тестовой фразе имеет наиболее близкую спектрограмму с эталоном, пики, полученные в результате корреляции, на разных частотах соответствуют практически одному моменту времени. Момент времени, соответствующий наибольшей локальной сумме (наличия) этих пиков по всем частотам, можно рассматривать как положение этого слова в анализируемой тестовой фразе. Границы слова в целом и его спектрограмма определяется на основе найденного момента времени, например, путем прибавления к этому моменту ½ от длительности эталонного сигнала. Повышение надежности распознавания может быть достигнуто использованием эталонных слов в состоянии различного психоэмоционального напряжения человека. Для иллюстрации работоспособности алгоритма поиска и сегментации слова из фразы «примите мой сигнал» вырезано и принято за эталон слово «мой». Рассмотрены фразы, содержащие эталонное слово. На рис. 1 показана спектрограмма тестируемой фразы «слово мой – единица языка». Длительность фразы – 5 с.

Ось времени градуирована в шагах оконной функции, использованной при построении спектрограммы, каждый шаг принят равным 320 семплов, что при частоте фреймов 44100 Гц составляет 7,26 мс. По оси ординат – частота в диапазоне 180–6000 Гц. Амплитуда на всех рисунках представлена в децибелах *db* следующим образом:

$$db = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{|x|}{x_{\max}}\right), \text{ъ}$$

где x – целочисленное значение амплитуды; x_{max} – максимальное значение амплитуды (зависит от размера семпла). Использовался 16-битный звук, x_{max} = 32768.

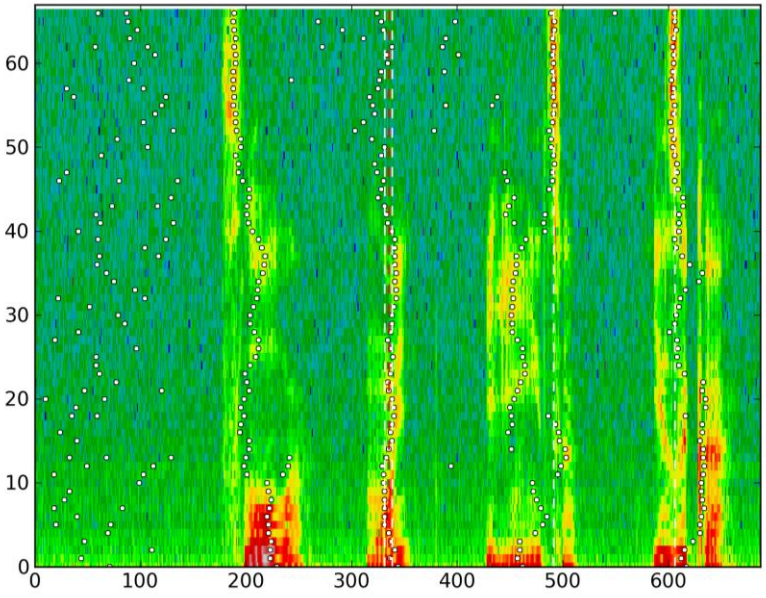


Рис. 1. Спектрограмма тестовой фразы: красная линия – положение искомого слова; белые точки – максимумы амплитуд гармоник на различных частотах.

3. Блок анализа параметров звука. Блок выполняет следующие операции:

– для каждой пары звуков определяется спектральная плотность мощности, энергии и интенсивности;

– определяется спектральный сдвиг по частоте максимумов интенсивности, энергии и мощности (основных формант FI–FIV) зву-

кового сигнала после нагрузки относительно соответствующего сигнала в состоянии покоя;

– определяется отклонение мощности, энергии и интенсивности звукового сигнала после нагрузки относительно соответствующего сигнала в состоянии покоя.

4. Блок определения психоэмоционального напряжения. Блок анализирует спектральный сдвиг по частоте, отклонение мощности, энергии и интенсивности, вычисляет соответствующие им признаки усталости и выводит их оценку.

Для создания программы используются языки программирования Python v2.7.2 [5] и C++ [6]. Использованы стандартные модули языка Python: os, sys, al, wave, argparse, pickle, – а также сторонние open-source модули: numpy, scipy.

Заключение. Установлена принципиальная работоспособность идеи автоматического распознавания признаков психоэмоционального или интеллектуального перенапряжения людей и разработана программа, реализующая данную идею.

Предложен и программно реализован алгоритм автоматического поиска анализируемых слов в произвольной тестовой фразе и ее сегментации на основе корреляции спектрограммы этой фразы с эталонной спектрограммой. Поиск слова дает возможность точно определять участок речевого сигнала для дальнейшего анализа даже при измененном порядке слов в тестируемой фразе.

Список литературы

[1] Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф. Общая фонетика: Учебник. – М., 2001.
[2] Ленца Д.Л. Супрасегментные и сегментные характеристики вопросительного предложения в эмоционально-окрашенной речи: Автореф. канд. дис. – М., 1977.
[3] Светозарова Н.Д. Интонационная система русского языка. - Л., 1982.
[4] Boersma, Paul & Weenink, David (2011). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.12.17, retrieved 3 March 2011 from http://www.praat.org/
[5] Г. Россум и др. Язык програмиирования Python – 2001 – 454 с.

УДК: 371.314.2+541

ИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА УРОКАХ ХИМИИ

Н. Г. Парамонова, И. А. Павлова

Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева
428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38
E-mail: rektorat@chgpu.cap.ru

Изучена технологии развития критического мышления, разработана и апробирована модель ее использования в обучении химии.
The techniques of development of critical thinking were studied; a model of their use in teaching chemistry has been developed and tested.

Введение. Задача современной школы научить учащихся самостоятельно мыслить, подготовить выпускников к оперативному принятию верных решений. Педагогические технологии, которые широко используются в последнее время в школе, призваны решить эту задачу. На наш взгляд, наиболее продуктивной является технология развития критического мышления. О том, что данная технология вызывает интерес учителей химии можно судить по публикациям, появляющимся в методической литературе и на основании посещаемых открытых

уроков. Эта технология является системой стратегий и методических приемов, предназначенных для использования в различных предметных областях, видах и формах работы. Она позволяет добиваться таких образовательных результатов как умение работать с увеличивающимся и постоянно обновляющимся потоком информации в разных областях знаний; умение выражать свои мысли (устно и письменно) ясно, уверенно и корректно по отношению к окружающим; умение вырабатывать собственное мнение на основе осмысления различного опыта, идей и представлений; умение решать проблемы; способность самостоятельно заниматься своим обучением; умение сотрудничать и работать в группе; способность выстраивать конструктивные взаимоотношения с другими людьми.

В зарубежных научных исследованиях можно встретить разные определения понятия «критическое мышление». При всем разнообразии определения отражают оценочные и рефлексивные свойства мышления. **Это открытое мышление, не принимающее догм, развивающееся путем наложения новой информации на жизненный личный опыт.**

Критическое мышление – использование когнитивных техник или стратегий, которые увеличивают вероятность получения желаемого результата. Такое рабочее определение дает Д. Халперн [7]. Такое мышление необходимо при решении задач, принятии решений, формулировке выводов, вероятностной оценке**.**

Направления исследования. Цель работы – разработка методики использования технологии развития критического мышления для обучения химии.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1) изучение истории и теории вопроса;
2) анализ опыта использования технологии развития критического мышления;
3) разработка модели учебного процесса с использованием данной технологии;
4) экспериментальная проверка разработанной методики.

Изучив историю и теорию вопроса, установили, что в отечественной школе технологию развития критического мышления стали применять с 1997 года. Проект «Чтение и письмо для развития критического мышления» был предложен российским педагогам американскими коллегами и разработан при поддержке Консорциума демократической педагогики, Международной читательской ассоциации. В основу программы положены идеи Ж. Пиаже об этапах умственного развития ребенка, Л. С. Выготского о зоне ближайшего развития и неразрывной связи обучения и общего развития ребенка, К. Поппера и Р. Пола об основах формирования и развития критического мышления, Э. Браун и И. Бек о метакогнитивном учении. К. Мередит, Ч. Темпл, Дж. Стилл на основе данных теорий разработали педагогическую технологию, выделив этапы, методические приемы и критерии оценки результата [6]. К российскому образованию адаптировали данную технологию И. В. Муштавинская, С. И. Заир-Бек, И. О. Загашев. Использование технологии развития критического мышления (ТРКМ) на уроках предполагает этапа (стадии) и методические приемы (стратегии) [2,4].

Стадия вызова. Задачи данного этапа вызвать интерес к изучаемой теме, актуализировать знания, привлечь учеников к активной работе. Необходимо дать возможность самому учащемуся поставить цели обучения. Роль учителя на этой стадии работы состоит в том, чтобы стимулировать учащихся к актуализации знаний, организовать обмен мнениями в группах, фиксировать и систематизировать информацию, полученную от школьников.

Стадия осмысления содержания. На этом этапе ученики знакомятся с новой информацией, осмысливают ее, соотносят с уже имеющимися знаниями. Получение новой информации может происходить разными путями. Это может быть лекция, рассказ, индивидуальная, парная или групповая работа. Главная задача – поддержать активность учащихся, их интерес созданный во время фазы вызова. Учащиеся ищут ответы на поставленные вопросы, разрешают возникшие на начальном этапе работы затруднения.

Стадия рефлексии. Рефлексия – размышление, самонаблюдение, самопознание, форма теоретической деятельности человека, направленная на осмысление собственных действий и законов. Применительно к уроку рефлексия подразумевает также обратную связь. Этот анализ должен быть обращен в словесную форму. Именно в процессе вербализации мысли, возникающие в сознании на стадии осмысления, структурируется, превращаясь в новое знание. Формы рефлексии могут быть устные и письменные, целесообразно сочетать индивидуальную и групповую работу. На этой стадии школьники систематизируют новую информацию по отношению к уже имеющимся у них представлениям. Этап рефлексии активно способствует развитию навыков критического мышления.

Отличительной особенностью технологии развития критического мышления является использование методических приемов (стратегий), имеющих специфические названия. На основе анализа методической литературы и обобщения педагогического опыта выявлены и представлены в табл. 1 приемы, соответствующие разным стадиям технологии критического мышления. Изучены приемы ТРКМ и применение их на уроках химии при рассмотрении конкретных тем [1,3,5]. Проведен сравнительный анализ данных стратегий и методических приемов, традиционно применяемых на уроках химии. Среди стратегий ТРКМ встречаются сходные с традиционными приемами и выявлены «специфические». Так, приемы «Ромашка Блума», «Толстые и тонкие вопросы» представляют собой систему вопросов, требующих различной глубины раскрытия: от простого воспроизведения до творческого уровня ответа.

Таблица 1

Приемы технологии развития критического мышления

Стадия	Возможные приемы
Вызов	Корзина идей, понятий, имен… Составление списка известной информации по теме. Формулировка вопросов (Ромашка Блума). Систематизация материала (графическая): кластеры, таблицы «Плюс-минус-интересно». Высказывание предположений («Верные и неверные утверждения», «Верите ли вы?», стратегия решения проблем Идеал. Покопаемся в памяти. Ассоциация. Перепутанные логические цепочки. Инструкции.
Осмысление (реализация смысла)	Методы активного чтения: инсерт. Маркировочная таблица. Двухчастный дневник. Лист решения проблем. Таблица аргументов. Составление кластера. Взаимоопрос. Зигзаг. Ведение записей типа дневников, «бортовых журналов». Поиск ответов на поставленные в первой части урока вопросы, составление таблиц. Учебный мозговой штурм. Поисковая лекция.
Рефлексия	Заполнение таблиц (концептуальной, сводной), кластеров, схем «Общее-уникальное». Составление «тонких» и толстых вопросов (демонстрация понимания темы). Внесение изменений, дополнений в предложения, сделанные на первой стадии. Организация устных и письменных круглых столов («Двухрядный круглый стол»). Самоанализ. Шесть шляп критического мышления. Организация дискуссий («Перекрестная дискуссия»). Написание творческих работ: синквейнов, эссе, статей, докладов (стратегия «Рамка», «Статья»).

Такие приемы как «Общее – уникальное», «Бортовой журнал», «Составление кластера», «Сводная таблица» или «Концептуальная таблица», заполняемые при необходимости сравнения нескольких объектов, широко используются на традиционных уроках обобщения и систематизации знаний. Стратегия «Идеал» по сути представляет собой реализацию проблемного обучения. К «специфическим» для ТРКМ можно отнести «Инсерт», «Зигзаг» – приемы работы с текстом; «Эссе», «Синквейн» – творческие задания; «Шесть шляп критического мышления» – это задание обычно используется на стадии рефлексии: класс делится на шесть групп, каждая группа «примеряет свою шляпу», высказывается шесть точек зрения на одну и ту же проблему.

На основе теории была разработана модель использования технологии развития критического мышления при изучении конкретных тем школьного курса химии. В модели отражены этапы реализации технологии критического мышления в обучении химии: изучение темы программы, определение цели применения приемов ТРКМ, определение адекватного цели приема данной технологии, отражение в плане урока. В табл. 2 приведена модель изучения темы с использованием ТРКМ.

Таблица 2

Тематическое планирование с использованием ТРКМ

Тема программы	Цель использования приема ТРКМ	Этапы ТРКМ	Приемы ТРКМ
Азотная кислота	Актуализировать знания об азотной кислоте, активизировать мышление	Стадия вызова	Покопаемся в памяти
Кремний. Важнейшие соединения кремния	Активизация мышления, осмысленное восприятие учебного материала	Стадия осмысления	Таблица аргументов
Общая характеристика фосфора	Закрепление материала, сфокусировав свое внимание на основных понятиях данной темы	Стадия рефлексии	Кластер
Углерод. Неорганические соединения углерода	Активизация мышления, побуждение к работе с новой информацией, стимулирование интереса к теме, бесконфликтный обмен мнениями между учениками	Стадия вызова	Ассоциации

Разработанная модель была апробирована в ходе первого этапа педагогического эксперимента в МОУ «СОШ № 47» г. Чебоксары в 11-ом «А» классе. Класс биолого-химического профиля. Уроки проводились 3 раза в неделю. Всего проведено 10 уроков с использованием приемов ТРКМ на разных этапах урока. К факторам, способствующим эффективному применению ТРКМ можно отнести: возрастные особенности, использования личностного опыта и опорных знаний по неорганической химии, большой объем информации. Возрастные особенности старшеклассников являются благоприятным фактором для использования данной технологии. Ведущей деятельностью выпускников является учебно-профессиональная (мотив деятельности – стремление приобрести профессию; мотивы, связанные с будущим; саморефлексия, жизненные планы, врастание в сферы жизни). Специфика мышления, интеллектуальное развитие старшеклассников выражаются в тяге к теоретическим и мировоззренческим проблемам, к обобщениям. Для старшего школьного возраста характерно преимущественное использование логической памяти, возрастание концентрации внимания, развитие монологической речи. Этим особенностям соответствуют стратегии ТРКМ, опирающиеся на использование приемов обобщения, систематизации, абстрагирования, рациональные приёмы запоминания, перекодирование химической информации с помощью схем, таблиц.

Об эффективности применения технологии можно судить по результатам текущего контроля. За время педагогического эксперимента было проведено 2 лабораторных работы, 1 самостоятельную работу, также индивидуальный опрос в ходе текущего контроля знаний. За этот период всего было выставлено 74 оценки, из которых 47 – «5» (отлично), 23 – «4» (хорошо), 4 – «3» (удовлетворительно). Результаты представлены на диаграмме. Педагогиче-

ское наблюдение и анкетирование учащихся покали, что их привлекают приемы ТРКМ своей необычностью, использующиеся на этапе вызова активизируют мыслительную деятельность, создают мотивацию к изучению темы, приемы стадий осмысления и рефлексии способствуют лучшему усвоению и закреплению знаний. Отношение учащихся к данной технологии положительное, эффективность высокая.

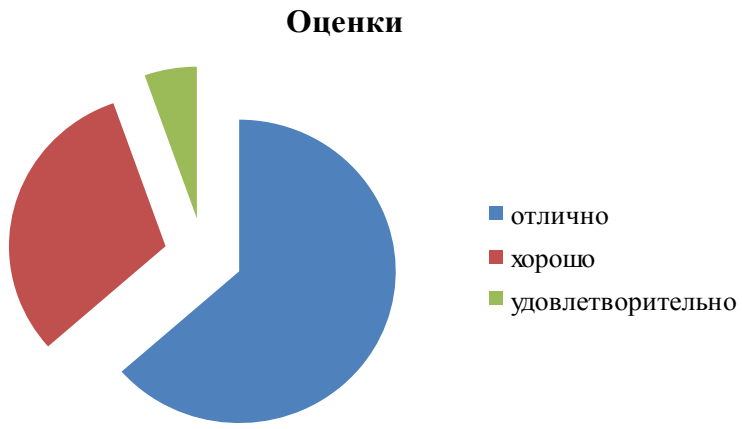


Рис. 1. Результаты контрольных срезов

Существует мнение психологов о том, что критичность мышления формируется лишь к 25 годам. Технологию развития критического мышления целесообразно использовать и при обучении студентов. В рамках предмета «Теория и методика обучения химии» наряду с другими педтехнологиями рассматриваем ТРКМ. На занятиях применяются элементы данной технологии при проведении методического анализа тем школьной программы и для решения химических задач. Проводится совместный анализ ответов с позиций студентов, учителя и учащихся. Это позволяет студентам обнаружить собственные пробелы в знаниях, показать направления актуализации знаний, спланировать деятельность учителя, а для учащихся – сформулировать цели изучения темы.

В заключении можно сделать некоторые выводы.

В условиях модернизации образования актуальными становятся формы, методы обучения, направленные на развитие личности учащихся. В последние годы появились новые технологии, способствующие реализации целей, стоящих перед современной школой. Одной из эффективных технологий является технология развития критического мышления. Данная технология имеет некоторые общие признаки с известными технологиями, например, с проблемным обучением, так как является средством развития мышления. Необычная атрибутика – названия стадий, приемов, стратегий является одним из факторов привлекающих внимание обучаемых. Среди стратегий ТРКМ встречаются традиционные методические приемы обучения, имеющие лишь новые названия, а также – специфические для данной технологии.

ТРКМ применяется учителями химии, но в основном это носит эпизодический характер. Любая технология может быть эффективной лишь при систематическом использовании.

В рамках дипломного исследования предложена модель использования технологии развития критического мышления при изучении школьного курса химии, в которой отражена последовательность реализации ТРКМ. Данная модель была апробирована в ходе первого этапа педагогического эксперимента, получены положительные результаты.

Критическое мышление дает человеку преимущества в современном мире. Необходимо это осознать и целенаправленно его формировать у студентов и школьников.

Технология критического мышления является также отправной точкой для творческого мышления, они развиваются в синтезе взаимосвязано.

Список литературы

[1] Береснева Е. В. Использование технологии критического мышления при изучении органической химии // Химия в школе. – 2008. – № 8. – С. 17 – 22.

[2] Бутенко А. В. Критическое мышление: метод, теория, практика / А. В. Бутенко, Е. А. Ходос. – М. : Мирос, 2002. – 176 с.
[3] Нечитайлова Е. В. Использование технологии критического мышления на уроках химии // Химия в школе. – 2011. – № 6. – С. 12 – 18.
[4] Федоров А. В. Технология развития медиакомпетентности и критического творческого мышления в процессе медиаобразования студентов: общие подходы // Молодежь и общество. – 2007. – №2. – С. 112 – 135.
[5] Сушкова Т. В. Развитие критического мышления при изучении углерода // Химия в школе. – 2008. – № 8. – С. 22 – 24.
[6]Темпл Ч. Критическое мышление и критическая грамотность // Перемена. – 2005. – № 2. – С. 15 – 20.
[7] Халперн Д. Психология критического мышления / Д. Халперн. – СПб. : Питер, 2000. – 512 с.

УДК: 378:61(063)

ОПТИМИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ ВНУТРЕННИХ БОЛЕЗНЕЙ

К. Ю. Тенюкова, А. С. Идрисов, Н. А. Рутенко, И. К. Казак, В. В. Тенюков

АО «Медицинский университет Астана», кафедра внутренних болезней, г. Астана, Республика Казахстан
vanifa52@mail.ru

Математически обработанные результаты экзаменов и анкетного опроса 336 студентов-медиков, обучавшихся на манекене Харви (Harvey) АПР-102, имитирующего симптомы заболеваний органов дыхания и сердца, показали эффективность освоения учебного материала и практических навыков, качества, результативность и маневрирования обучения.
Mathematically processed of examining tests results and 336 medical students questionnaire trained on a Harvey dummy of the APR-102, simulating diseases symptoms of respiratory organs and heart, showed efficiency of a training material development and practical skills, qualities and productivit and manoeuvring of a training.

Ключевые слова: анализ результата экзаменационного контроля знаний студентов-медиков, манекен Харви (Harvey), эффективность обучения
Key words: Analysis of the examination of the medical students, a dummy of Harvey, efficiency of training.

Введение. Учебный процесс в высшем медицинском учебном заведении; включает все виды учебных занятий (уроки, лекции, семинары, лабораторные и практические занятия, производственную практику), ограничен определенными сроками, не позволяющими расширять рамки учебных программ, охватывающих все достижения медицинской науки и техники. Один из важнейших источников совершенствования учебно-методического комплекса – постоянный анализ мнений преподавателей и студентов. Технология же проведения учебных занятий определяются многими факторами. Основными проблемами учебного процесса в медицине, являются риск причинения морального вреда реальным пациентам, участвующим в обучении студентов [6]. Под оптимизацией учебного процесса понимают приспособление или улучшение параметров одной системы обучения (с помощью технических средств, муляжей, фантомов, и т.д.) под требования усвоения знаний, практических навыков для успешного и плодотворного взаимодействия, повышения производительности, а также уменьшения затрачиваемого времени. Передовой мировой опыт в области медицинского образования свидетельствует, что повышение эффективности процесса обучения возможно при внедрении современных инновационных обучающих технологий. Методически грамотное применение средств обучения повышает эффективность учебного процесса [4]. Исследования по-

казали, что правильное использование технических средств обучения позволяет повысить уровень запоминания учебного материала, сократить время изучения, активизировать мыслительную деятельность, познавательный интерес, творческие способности, умения самостоятельно пополнять знания у студентов [5]. Также отмечено, что применение технических средств обучения положительно сказывается на организации учебного процесса, придает ему большую четкость и целенаправленность. Использование технических средств обучения должно не исключать или заменять традиционные формы работы, а органически их дополнять, вписывать в учебную и практическую деятельность. Среди многочисленных видов медицинских технических средств обучения особое место занимают многофункциональные фантомы (симуляторы терапевтических и других состояний) – обеспечивающие симуляционное обучение, создающие клинические ситуации, максимально приближенные к реальным, происходящим в жизни, а дебрифинг повышает эффективность обучения (дебрифинг – процесс в котором по окончанию занятия преподаватель задает вопросы в определенной последовательности, позволяющие студентам выделить ключевые события, определить причинно-следственную связь) [1]. Это в совокупности способствует совершенствованию профессиональных знаний, умению и навыков у студентов. Вышесказанное и определило актуальность выбранной темы.

Цель исследования. Изучить эффективность освоения учебного материала на кафедре внутренних болезней, практических навыков у студентов оптимизируя учебный процесс с применением манекена Харви симулирующего патологические проявления заболеваний органов дыхания и сердца.

Материалы и методы. Для оптимизации учебного процесса на кафедре использовали многофукциональный манекен Харви (Harvey) АПР-102 компании Laerdal Corporation названный в честь В.Проктора Харви, врача в Джорджтаунском университете и наставника создателя манекена доктора Майкла Гордона. Тренажер Харви – инструмент для медицинского образования (Рис.). Создание манекена Харви – это ответ на возрастающие потребности в учебных методах медицинского мира, которые являются неудобными для пациентов. Использованная версия симулятора-тренажера Харви может подражать шести различным звукам дыхания, десяти различным сердечным областям выслушивания, тридцати сердечным болезням и двенадцати в цифровой форме ведомым импульсам. Амплитуда и интенсивность сердцебиения изменчивы. Стажеры используют встроенный стетоскоп, чтобы слушать звуки. Стажеры могут также вручную пальпировать пульс. Используя Харви, стажеры-студенты могут использовать различные программы с лабораторными-инструментальными, видео и другими данными моделирующие истории болезни реальных пациентов, позволяющие учить их принимать клинические решения, делать прогнозы, выделять ключевые моменты, проводить дебрифинг (цепочка – имеющиеся проявления патологии на фантоме, умение воспринимать – аускультация и пальпация и т.д., анализ всего) [9, 10, 11, 12].

В исследовании приняли участие 336 студентов. Эффективность освоения материала и практических навыков изучали у студентов IV курса кафедры внутренних болезней, трех дисциплин (по пульмонологии, кардиологии и ревматологии). Проводили анализ эффективности по объективным (результаты экзаменов) и субъективным (результаты анкетирования) данным. Оценка результатов на объективном структурированном клиническом экзамене (ОСКЭ) проводилась по 10-балльной системе [7, 8]. Для этого студенты были разделены на три потока: первый и



Рис. Манекен Харви

второй потоки не проходили обучение в учебном клиническом центре (УКЦ), третий поток прошел обучение на фантоме-симуляторе Харви в УКЦ. Эмпирический подход включал: наблюдения за учебным процессом, опросы и анкетирование обучаемых 336 студентов и преподавателей, педагогический эксперимент. Метод включения технического средства (манекена Харви) в учебный процесс должен был способствовать реализации алгоритма адаптивного управления усвоением учебной информации обучаемыми. Полученные результаты были рандомизированы по количественному составу с помощью метода прямой стандартизации [3].

Цифровые результаты обработаны методами описательной статистики, различия между группами определены с помощью непарметрического критерия χ^2.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований (Табл. 1) наглядно демонстрируют улучшение успеваемости студентов, освоение учебного материала и освоение практических навыков при включении технического средства (манекена Харви) в учебный процесс. Так в 3-м потоке (посещали УКЦ) уменьшилось количество студентов, получивших минимальные балы: 4 балла (оценка ОСКЭ) получил 1 студент как при аускультации легких, так при аускультации сердца, а в 1-м и 2-м (не посещали УКЦ) потоках были студенты, получившие по 1, 2 и 3 балла (оценка ОСКЭ).

Таблица 1

Рандомизированная оценка практических навыков выставленная экзаменатором на ОСКЭ (объективный структурированный клинический экзамен)

Баллы		**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Аускультация легких	I поток	0	0	0	6,1% 7	9,6% 11	6,1% 7	8,8% 10	9,6% 11	19,3% 22	26,3% 29	14,0% 16
	II поток	0	0	5,4% 6	3,6% 4	1,8% 2	4,5% 5	9,8% 11	21,4% 24	16,1% 18	33,0% 37	5,4% 6
	III поток	0	0	0	0	0,9% 1	1,8% 2	4,5% 5	9,1% 10	12,7% 14	37,3% 42	33,6% 38
Аускультация сердца, измерение АД(%)	I поток	0	0,9% 1	2,6% 3	3,5% 4	5,3% 6	8,8% 10	7,0% 8	16,7% 19	21,9% 25	16,7% 19	16,7% 19
	II поток	0	0,9% 1	1,8% 2	1,8% 2	10,7% 12	12,5% 14	14,3% 16	12,5% 14	17,9% 20	16,1% 18	9,8% 11
	III поток	0	0	0	0	0,9% 1	0,9% 1	4,5% 5	6,4% 7	14,5% 16	23,6% 26	49,1% 55

(1 поток 114 студентов – не посещали УКЦ; 2 поток 112 студентов – не посещали УКЦ; 3 поток 110 студентов – посещали УКЦ), за стандарт принято число – 112 студентов (средняя от числа участников)

Значения p, χ^2: аускультация легких – I поток к потокам II и III p=0,0000; II поток к потоку III – p=0,0000
аускультация сердца – I поток к потоку II p=0,0899, к потоку III – p=0,000II;
II поток к потоку III – p=0,0000

Максимальное количество баллов (9 и 10) в 1-ом и 2-ом потоках (не посещали УКЦ) получили по аускультации легких 29 и 16 студентов (1-й поток – не посещали УКЦ) и 37 и 6 студентов (2-й поток – не посещали УКЦ), в 3-ем потоке (посещали УКЦ) количество студентов с высшими баллами было соответственно 42 и 38, т.е. значительно выше, особенно 9 баллов (оценка ОСКЭ). Максимальное количество баллов (9 и10) в 1-ом и 2-ом потоках (не посещали УКЦ) получили по аускультации сердца и измерению АД 19 и 19 студентов (1-й поток – не посещали УКЦ) и 18 и 11 студентов (2-ой поток – не посещали УКЦ), в 3-м потоке (посещали УКЦ) количество студентов с высшими баллами было соответственно 26 и 55, т.е. значительно выше, особенно 10 баллов (фактически более половины проэкзаменованных). Из результатов анкетного опроса студентов следует (Табл. 2), что свои практические навыки (оцениваемые по 10 балльной системе – оценка ОСКЭ) до посещения УКЦ по аускультации легких в высших баллах (9 и 10 – оценка ОСКЭ) оценивали 26 и 0 студентов

(из 50 опрошенных), а после посещения 25 и 11 соответственно; до посещения УКЦ по аускультации сердца в высших баллах (9 и 10 – оценка ОСКЭ) оценивали 0 чел. соответственно, а после посещения 42 и 39 соответственно; до посещения УКЦ по измерению АД и пульса в высших баллах (9 и 10 – оценка ОСКЭ) оценивали по 26 стажера, а после посещения 13 и 63 соответственно. По результатам анкетного опроса выявлено, что занятия в УКЦ в разной степени помогли 49 студентам из 50 опрошенных (Табл. 3), и только 1 человек заявил, что занятия в УКЦ проводить нет необходимости.

Таблица 2

Рандомизированные результаты анкетного опроса студентов до и после посещения УКЦ (учебный клинический центр)

Баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Значения p, χ^2
Перкуссия и аускультация сердца												
До посещения УКЦ	0	5,9% 7	11,8% 13	11,8% 13	5,9% 7	5,9% 7	11,8% 13	29,4% 33	17,6% 20	0	0	
После посещения УКЦ	0	3,4% 4	10,3% 12	3,4% 4	10,3% 12	3,4% 4	24,1% 27	10,3% 12	34,5% 39	37,9% 42	34,5% 39	0,0000
Перкуссия и аускультация легких												
До посещения УКЦ	0	0	11,8% 13	29,4% 33	0	0	23,5% 26	5,9% 7	23,5% 26	23,5% 26	0	
После посещения УКЦ	0	2,0% 2	8,0% 9	10,0% 11	4,0% 4	6,0% 7	14,0% 16	10,0% 11	14,0% 16	22,0% 25	10,0% 11	0,0000
Измерение АД и пульса												
До посещения УКЦ	0	0	0	0	11,8% 13	0	5,9% 7	5,9% 7	29,4% 33	23,5% 26	23,5% 26	
После посещения УКЦ	0	0	2,0% 3	0	0	0	0	12% 13	18% 20	12% 13	56% 63	0,001287

Следует также отметить, что многофукциональный манекен Харви пользуется большой популярностью у студентов-медиков, который по их мнению позволяет хорошо освоить симптомы многих заболеваний сердца и легких и практические навыки.

Таким образом, в совокупности все перечисленные моменты учебного процесса на кафедре внутренних болезней будут работать с полной отдачей, если они: позволят достаточно четко выявлять дидактические ситуации, внутри которых целесообразно применять технические средства обучения; обеспечат возможность приведения в соответствие целей и задач применения технических средств обучения с целями и задачами учебного процесса; помогут создать условия обязательного и правильного выполнения обучаемыми требуемой учебной познавательной деятельности; усилят интерес и мотивацию обучаемых к процессу учебного познания [2].

Таблица 3

Рандомизированные результаты анкетного опроса студентов (о помощи занятий в учебном клиническом центре «УКЦ» для приобретения знаний по внутренним болезням)

Помогли ли Вам занятия в УКЦ?	Очень помогли	Да, помогли	Немного помогли	Нет, не помогли	Не нужно проводить занятия в УКЦ
	22,0% 25	46,0% 52	30,0% 34	0	2,0% 2

Выводы:

1. Применение симулятора, многофункционального манекена Харви (Harvey) в учебном процессе на кафедре внутренних болезней по изучению основных проявлений заболеваний органов дыхания и сердца является эффективным образовательным инструментом, его использование повышает качество и результативность обучения студентов;

2. Использование симулятора Харви (Harvey) в учебном процессе позволяет улучшить обратную связь (студент – преподаватель), повторение тренинга, интегрировать учебное задание, ранжировать уровни сложности патологии, рассматривать множественные учебные стратегии и различные клинические вариации;
3. Кроме того, применение манекена Харви в образовательном процессе на кафедре внутренних болезней обучает студентов принимать правильные решения, оценивать создавшиеся клинические ситуации, прогнозировать их развитие, контролировать за ошибками обучаемых, проводить дебрифинг, что в совокупности несомненно повысят эффективность обучения и имеет большое практическое значение;
4. Полученные данные свидетельствуют, что применение манекена Харви оптимизирует учебный процесс на кафедре внутренних болезней наглядно демонстрируя улучшение успеваемости студентов в освоении учебного материала и освоении практических навыков.

Список литературы

1. Горшков М. Д. Обзор литературы по симуляционному обучению /М. Д. Горшков // Виртуальные технологии в медицине» науч.-практ. журн. – 2011. – №1 (5). – С. 11–13.
2. Грачев О. Ю. Методы повышения эффективности применения технических средств в учебном процессе / Автореф. дисс. канд. мед. наук. – Москва, 1998. – С. 5.
3. Калинина В. Н. Введение в многомерный статистический анализ: учебное пособие / В. Н. Калинина, В. И. Соловьев. – М., 2003.
4. Корабач В. Н. Смотр-конкурс как метод активизации учебно-воспитательного процесса на военной кафедре / В. Н. Корабач [и др.] // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2007, № 1. С. 229–230.
5. Меренцов Ю. И. Система подготовки военных кадров: состояние и пути совершенствования / Ю. И. Меренцов // Армия. – 2006. – № 1. – С. 2–7.
6. Мурин Сьюзан Использование симуляторов в обучении: переломный момент / Сьюзан Мурин, Николас С. Столенверк // Виртуальные технологии в медицине» науч.-практ. журн. – 2011. – №1(5) . – С. 7.–10.
7. Приказ Министерства Образования и Науки Республики Казахстан № 125 от 18.03.2008 «Об утверждении типовых правил проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации обучающегося».
8. Приказ № 152 от 03. 2011 г. АО «Медицинского Университета Астана» «Положение о бально-рейтинговой буквенной системе».
9. Gordon, M. (1997). All New Harvey, Major Changes. University of Miami. http://www.gcrme.miami.edu//harvey-major-changes. Retrieved 2011-05-18.
10. Cardiology Patient Simulator Harvey Instruction Manual. Maimi, Florida: University of Miami. – 1995. – P. I1-III1.
11. Staff. Harvey the Cardiopulmonary Patient Simulator. University of Miami. http://www.laerdal.com/doc/172/Harvey-The-Cardiopulmonary-Patient-Simulator. Retrieved 2011-05-18.
12. Jones J. S. Assessing bedside cardiologic examination skills using «Harvey», a cardiology patient simulator / J. S. Jones, S. J. Hunt, S. A. Carlson, J. P. Seamon // Acad. Emerg. Med. – 1974. – № 10. – P. 980–985. doi:10.1111/j.1553-2712.1997.tb03664.x. PMID 9332631.

ВСЕРОССИЙСКИЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР «НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2012» КОНКУРС ПО ПРОГРАММЕ «У.М.Н.И.К.»

СЫРОИЗГОТОВИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОТКРЫТОГО ТИПА С БАРБОТАЖНЫМ СПОСОБОМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Н. В. Крашенинникова, И. И. Максимов

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»

В связи с быстрым развитием пищевой промышленности предъявляются все более высокие требования ко всем ее областям, одна из которых − сыроделие. Анализируя технический уровень сыродельного оборудования, следует всегда иметь в виду большой диапазон мощностей предприятий, вырабатывающих сыр (от 1–2 тонн до 100 тонн переработки молока в смену). Естественно, уровень механизации и автоматизации на этих предприятиях должен быть разным и определяться экономической целесообразностью.

Выработка качественных сыров требует организации специализированных производств, обеспеченных необходимым технологическим оборудованием и инвентарем. Для производства этого ценного молочного продукта требуется широкий спектр специального сыродельного оборудования. Основными аппаратами для производства сыров являются сырные ванны и котлы. Но есть и такие аппараты, которые являются гибридами ванн и котлов.

Существующие аппараты периодического действия могут быть открытого типа – сыродельные ванны и закрытого типа – вертикальные и горизонтальные сыроизготовители, предназначенные для выработки сырного зерна в производстве твердых, полутвердых и мягких сычужных сыров. Были попытки создания аппарата непрерывного действия, но они оказались безуспешными. На данный момент используются в основном горизонтальные сыроизготовители. Они появились двадцать лет назад, производили их сначала датские фирмы, а потом и шведские. После этого новые конструкции для выработки сырного зерна не предлагались. Аппараты такого типа достигли своего максимального уровня развития, поэтому дальнейшая работа проводилась в направлении изменения отдельных узлов, но сама конструкция не затрагивалась.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, становятся актуальными разработка и внедрение новых типов аппаратов для сыроделия.

Предлагается разработка сыроизготовителя нового типа, особенность которого заключается в способе перемешивания сырного зерна.

Для получения конечного результата необходим 1 год. Программа проведения работ по проекту включает в себя следующие этапы:

– составление графиков гранулометрического состава для производства определенных сортов сыра;
– подбор оптимальных режимов барботирования;
– проектирование оптимизированной трехмерной модели сыроизготовителя;
– экономический анализ и прогнозирование рентабельности внедрения разработки на рынок;
– разработка конструкторской документации, технического задания;
– сборка действующей модели в металле;
– проведение опытных работ на действующей модели в разных режимах, опытное производство выбранных сортов сыра, исследование режимов работы установки;
– оптимизация режимов работы установки в соответствии с полученными опытными данными;
– поиск производственной базы, внедрение установки на рынок.

Наиболее близким аналогом к предлагаемому изобретению является ванна для выработки сырного зерна (патент СССР N 497005), содержащая двустенную емкость с формообразующими скобками в межстеночном пространстве, многоскоростной реверсивный привод, устройство для подъема и наклона ванны, универсальный режуще-вымешивающий инструмент, устройство для отбора сыворотки.

Недостатком данного устройства является сложность его изготовления, дороговизна, и то, что при такой установке режуще-вымешивающего инструмента не весь объем резервуара подлежит обработке, т.е. с торцов ванны образуются зоны, не обеспечивающие получения рациональной формы сырного зерна, а также еще одной проблемой является повреждение сырного зерна в процессе перемешивания.

Потенциальными потребителями предлагаемого продукта являются предприятия пищевой промышленности, занятые производством сыра и сырных продуктов.

Описание разработки. Сыроизготовитель содержит вертикальную цилиндрическую ванну, выполненную из пищевой нержавеющей стали с теплоизолированными боковыми стенками, которая выполняет роль водяной рубашки. На боковой стенке ванны, выше распределительной камеры, расположено дополнительное устройство для отбора сыворотки. Так же сыроизготовитель содержит змеевик, через штуцер которого подается воздух в распределительную камеру. Воздух нагревается в змеевике при прохождении его через водяную рубашку цилиндрической ванны. Распределительная камера имеет в верхней стенке выходные отверстия, на которых установлены клапаны.

Во время работы устройства компрессор нагнетает воздух через подогревающийся водяной рубашкой змеевик, и далее во внутреннюю полость диска, расположенного на дне сыроизготовителя. Выходя через отверстия в верхней стенке диска, воздушные пузыри поднимаются вверх, барботируя массу сырного зерна.

Повышение качества получаемого продукта обеспечивается мягким режимом перемешивания, возможностью обработки всего объема резервуара, а также регулированием давления подаваемого воздуха для перемешивания сырной массы.

Отказ от использования для перемешивания режуще-вымешивающего инструмента позволит снизить себестоимость аппарата. Внедрение разработки позволит снизить энергозатраты при производстве сырной массы. Упрощение конструкции, отсутствие в ней подвижных механизмов снижает себестоимость установки, увеличивает ее надежность, что делает проект конкурентоспособным и перспективным для внедрения в пищевой отрасли.

Список литературы

[1] Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / Под редакцией С.А. Гудкова. – М.: ДеЛи, 2003. – 800 с.
[2] Крусь Г.Н., Шалыгина А.Н., Волокитина З.В. Методы исследования молока и молочных продуктов. – М.: Колос, 2000. – 367 с.
[3] Оноприйко А.В., Карнаух В.И., Оноприйко В.А. Техника и технология переработки молока на прифермских сыроварнях и сыродельных мини–заводах. Обзорная информация. – М.: АгроНИИТИММП, 1990. – 40 с.

УДК 621.31

ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ

К. В. Рыбаков, И. И. Максимов

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»

Изобретение относится к устройствам для измельчения мясного сырья, в частности к устройствам для переработки мяса крупного рогатого скота, свинины, курятины, конины, верблюжатины, кенгурятины и может быть использована в пищевой промышленности. Известно измельчающее устройство, содержащее четырех лепестковый нож для резания и перемешивания, установленное с возможностью заточки или замены ножа см. патент (2396124 С1, публикация 10.08.2010). Наиболее близким аналогом к предлагаемой модели является мясорубка для измельчения мясного сырья патент (2232051 С1, публикация 10.07.2004), содержащая четырех лепестковый нож для резания и перемешивания, так же расширенное загрузочное отверстие для загрузки мясного сырья и последующего измельчения.

Недостатком данного устройства является сложность его изготовления, дороговизна, и то, что при таком способе нарезки режущий инструмент требует постоянной заточки, надлежащего ухода. При регулярной эксплуатации и отсутствии своевременной заточки, мясное сырье не нарезается, а рвется, что способствует большой потери мясного сока. Который в свою очередь является одной из основных составляющих мясного сырья.

Целью предлагаемой модели, является в повышение качества измельчения мясного сырья, путем сохранения его сока с отсутствия разрыва мясной структуры и удешевление установки для измельчения мясного сырья.

Поставленная цель достигается тем, что измельчающее устройство для мясного сырья содержит цилиндрический корпус, внутренняя поверхность которого снабжена направляющими канавками, расположенными вдоль оси, а сам корпус с одной стороны снабжен загрузочным лотком, с другой стороны - наружной резьбой, при этом внутри полого цилиндрического корпуса соосно с ним установлен однозаходный шнек, со стороны лотка, соединенный с механическим приводом его вращения, а с другой на нем неподвижно закреплен четырех лепестковый металлический трос, вместо четырех лепесткового ножа. Крепится четырех лепестковый трос на металлическое кольцо.

Для получения конечного результата необходимо 2 года. Программа первого года включает:

– разработку принципа действия и технологии процесса нарезки;

– разработку технологического оборудования установки нарезки.

В течение следующего года планируется:

– разработать опытный образец установки на основе производственной мясорубки;

– изготовить и испытать опытный образец установки;

– провести патентные и маркетинговые исследования;

– завершить бизнес-планирование производства и начать продажи.

В настоящее время проблема нарезки мясного сырья состоит в том, что в волчках режущая кромка ножа расположена по радиусу и при вращательном движении линейная скорость режущей части ножа изменяется пропорционально радиусу, что приводит к неоднородности измельчения. Каждая точка режущей кромки имеет свою линейную скорость, поэтому невозможно добиться того, чтобы все полотно ножа одинаково хорошо измельчало мясное сырье. Отсюда наибольшая эффективность резания наблюдается только на более удаленной от оси вращения части режущей кромки и резко снижается ближе к оси вращения. Структура фарша в сечении получается неоднородная, хорошо измельченная на периферии и хуже ближе к оси вращения. Конструктивные изменения режущей кромки, например, прида-

ния ей серповидной формы или использование разных углов заточки, не дают ощутимого эффекта. При крупном измельчении, например, через приемную решетку или решетку с отверстиями диаметром 25 мм указанные недостатки не очень заметны, кроме энергетических потерь на привод ножей, но при измельчении через 5-ти и 3-х мм решетки становится очевидным, что традиционный способ измельчения вращением создает ощутимые недостатки. Условия эксплуатации в режущей паре для решетки и для ножа разные. В наиболее тяжелом положении находится нож, который испытывает большие удельные нагрузки. Процесс резания или сдвиг со стороны ножа осуществляется по прямой линии, а со стороны решетки по окружности, которая всегда больше по длине прямой линии. Поэтому целесообразнее использовать кардинально новый способ нарезки мяса и мясной продукции. Такой процесс, который обеспечит однородную структуру фарша по всей площади решетки, создаст одинаковые условия для режущего механизма, снизит затраты энергии на процесс резания, повысит надежность и долговечность режущего аппарата.

Список литературы

[1] Беляев М.И. Тепловое оборудование: учебник для технологических факультетов торговых вузов. – М.: Экономика, 1990. – 328с.
[2] Розанцев Э.Г. Биохимия мяса и мясных продуктов. – М.: 2006. – 236 с.
[3] Эванс Дж. А. (ред.). Замороженные пищевые продукты – СПб.: 2010.– 448с.

УДК 62-68

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОКВАРТИРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

П. В. Стариков, В. Г. Соловьев, А. И. Орлов

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

В настоящее время в многоквартирных домах параметры микроклимата (температура, влажность и состав воздуха) в помещении, как правило, регулируется открыванием форточки, поэтому потери тепловой энергии с вентилируемым воздухом достигают 60-70% от суммарных тепловых потерь отапливаемого здания. Для большого числа жителей такое регулирование при установке общедомовых или поквартирных счетчиков может привести к значительному увеличению стоимости отопления.

Предлагается автоматическая поквартирная система управления микроклиматом в жилых зданиях, состоящая из подсистемы регулирования влажности и содержания углекислого газа и подсистемы регулирования температуры помещения, позволяющая сократить энергопотребление в жилых зданиях за счет рационального воздухообмена и устранения перетопов.

Данная система будет состоять из двух подсистем, имеющих общий многоканальный программируемый логический контроллер:

– подсистема регулирования влажности и содержания углекислого газа, содержащая соответствующие датчики, механизм регулирования воздухообмена между помещением и окружающей средой, обеспечивает требуемую кратность воздухообмена;

– подсистема регулирования температуры помещения, состоящая из датчика температуры и регулируемого клапана на отопительных приборах, поддерживает заданную постоянную температуру в помещении, исключая перетопы.

Процентные содержания водяных паров и углекислого газа в воздухе будут контролироваться соответствующими датчиками. При превышении содержания водяных паров или углекислого газа в воздухе датчик посылает сигнал на логический контроллер и издает звуковой сигнал. Далее для проветривания помещения будет приводиться в действие механизм регулирования воздухообмена между помещением и окружающей средой в автоматическом или ручном режиме (по выбору пользователя).

Заданная температура в помещении будет поддерживаться постоянной благодаря регулируемому клапану на отопительных приборах. При превышении или понижении температуры в помещении датчик температуры посылает сигнал на логический контроллер. Затем происходит соответственно закрытие или открытие клапанов на отопительных приборах.

Компоненты системы компактны, имеют возможность встройки в существующие системы отопления и вентиляции в зданиях, потребляют для своего функционирования небольшое количество электрической энергии.

Предполагается, что основными потребителями устройства будут жильцы многоквартирных домов. Система может применяться в обычных жилых многоквартирных зданиях, в которых единственным применяемым в жилых домах способом регулирования состояния микроклимата является проветривание через форточку. Предлагаемая система позволит сократить энергопотребление минимум на 50% за счет рационального воздухообмена и регулирования расхода теплоносителя в отопительных приборах.

В рамках проекта планируется реализация следующих работ:

– выбор типов датчиков влажности, углекислого газа и температуры;

– выбор типа автоматического клапана на отопительные приборы;

– разработка исполнительного механизма регулирования воздухообмена между помещением и окружающей средой;

– разработка программного обеспечения многоканального логического контроллера;

– испытание автоматической поквартирной системы управления микроклиматом в реальных жилых домах, оснащенных счетчиками учета тепловой энергии;

– исследование влияния автоматической системы на микроклимат для различных типов зданий;

– расчёт экономического эффекта от применения предлагаемой автоматической поквартирной системы управления микроклиматом в жилых зданиях.

Срок реализации проекта составит 5-7 лет:

– 2 года – на проведение научно-исследовательской работы;

– 1-2 года – на проведение опытно-конструкторских работ;

– 2-3 года на ввод проекта в эксплуатацию.

Известны аналоги предлагаемой системы управления микроклиматом в жилых и офисных зданиях, например: «Устройство и способ для автоматического контроля климата» (патент RU 96118459 A), «Система управления микроклиматом помещений внутри здания» (патент RU 86709 U1), «Устройство управления микроклиматом в комплексе помещений» (патент RU 56566 U1), и др. Однако эти системы не приемлемы для большинства собственников квартир в многоквартирных домах по следующим причинам:

– большое количество элементов;
– высокая стоимость;
– наличие громоздкой системы рекуперации тепла;
– регулирование приточно-вытяжной вентиляции без учета химического состава воздуха;
– высокие энергетические затраты;
– необходимость наличия кондиционеров или других агрегатов формирования микроклимата.

Большой объём рынка и высокое соотношение цены к себестоимости предлагаемого устройства позволят получить высокий экономический эффект для всей команды, работающей над проектом.

Список литературы

[1] МГСН 2.01-99. «Энергосбережение в зданиях».
[2] Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х частях. Ч. 2. Вентиляция / под ред. В. Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1976. 439 с.
[3] СНиП 23-02-2003. «Тепловая защита зданий».
[4] Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 7-е изд., стереот. М.: Издательство МЭИ, 2001. 472 с.: ил.
[5] СП 23-101-2004. «Проектирование тепловой защиты зданий».
[6] Тиатор И. Отопительные системы. М.: Техносфера, 2006. 140 с.

БИОГРАФИИ

ЖИЗНЬ И НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОФЕССОРА ИГОРЯ ВИКТОРОВИЧА ЕВСЕЕВА В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ЭХО-СПЕКТРОСКОПИИ ГАЗОВ

В. В. Самарцев[1,2], И. И. Попов[3]

[1] *Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН, Казань 420029, ул. Сибирский тракт, 10/7*

[2] *Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань 420008, ул. Кремелевская, 16*

[3] *Марийский государственный университет, Йошкар-Ола 424001, пл. Ленина, 1*

e-mail: samartsev@kfti.knc.ru; popov@marsu.ru



Евсеев Игорь Викторович родился 14 марта 1944 г. в г. Москва, в семье военнослужащего – подполковника. Его мать – высокообразованная и тонко чувствующая людей женщина – передала часть прекрасных черт своего характера Игорю. Нередко Игорь был очень эмоционален в оценке различных событий. Он любил поэзию, и нам запомнились многочисленные поэтические посиделки у него дома на кухне. Отца его мы не помним, но, видимо, от него перешли к Игорю такие черты характера, как стремление к порядку во всем и аскетизм. У Игоря есть брат – Александр Викторович Евсеев, во многом на него похожий, но помягче. Игорь и Александр закончили Московский инженерно-физический институт (МИФИ) и получили прекрасное физическое образование, позволившее им в дальнейшем читать лекции, как в МИФИ, так и в других престижных московских вузах.

Заочное знакомство с научными разработками И. В. Евсеева одного из авторов (В.В.С.) данной статьи началось в 1969 году, когда появилась его статья в соавторстве с профессором Алексеевым Алексеем Ивановичем – учителем Игоря [1], как реакция на поляризационные особенности фотонного эха в газе, обнаруженные выдающимися американскими экспериментаторами Пателом и Слашером в 1968 году [2].

В 1970 году Игорь Викторович успешно защитил в МИФИ кандидатскую диссертацию «Поляризационные эффекты фотон-эха в газовой среде». Очное знакомство Игоря с одним из нас (В.В.С.) состоялось в 1973 году в Казани, где проходил 1 всесоюзный симпозиум по световому эху [3]. Выглядел он тогда примерно так, как на приведенной здесь фотографии. Он очень понравился казанцам, особенно одному из авторов этой статьи и, по-существу, именно с первого симпозиума по световому эху (СЭ) началась наша дружба. Его всегда тянуло к эксперименту и в те далекие семидесятые годы прошлого века он занимался теорией СЭ в газах BCl_3 и SF_6 по результатам экспериментов С. С. Алимпиева и Н. В. Карлова [4], поставленных в ФИ АН СССР. В середине семидесятых годов уже появились многочисленные зарубежные эксперименты по СЭ в газах, среди которых выделялись работы Брюера с коллегами [5], а также Моссберга и Хартманна [6]. Все эти работы находились в поле научного внимания Игоря Виктровича. А затем, в конце семидесятых годов, появились эксперименты новосибирской группы во главе с проф. В. П. Чеботаевым сначала по оптической ко-

герентности в разнесенных полях, а затем эксперименты участников этой группы – Л. С. Василенко и Н. Н. Рубцовой – по фотонному эху в газах [7]. Именно с этой экспериментальной группой Игорь сотрудничал все последующие годы. К этому времени проф. И. В. Евсеев провел огромный цикл исследований в области поляризационной эхо-спектроскопии, получивший признание у подавляющего числа советских специалистов в области лазерной физики. В 1987 г. Игорь представил в докторский Совет МИФИ диссертацию «Фотонное эхо и некоторые его модификации в молекулярных газах» и успешно защитил ее. Один из авторов этой статьи (В.В.С.) был официальным оппонентом по этой диссертации и может засвидетельствовать, что защита была трудной, но достойной и блестящей. Молодой (тогда ему было всего 43 года), талантливый, энергичный и исполнительный доктор физико-математических наук обратил на себя внимание выдающегося российского ученого, Нобелевского лауреата, академика Прохорова Александра Михайловича, принявшего решение в конце восьмидесятых годов начать выпуск на английском языке международного журнала «Laser Physics». В качестве заместителя главного редактора этого журнала был выбран Игорь Викторович Евсеев, а в состав редакции журнала вошли многие всемирно известные ученые, половина из которых были русскоязычными, поскольку статьи могли подаваться в журнал на русском языке, а редакция брала на себя труд по переводу этих статей на английский язык. Первый выпуск журнала «Laser Physics» вышел в январе 1991 года, и один из нас (В.В.С.) горд, что он начинался со статьи Зиновьева, Самарцева и Силаевой [8]. Двадцать один год при активном организационном и творческом участии Игоря выходил этот журнал в печать и завоевал международную популярность, а с 2004 г. стал издаваться по его инициативе еще один журнал «Laser Physics Letters». Примерно с 1992 г. по инициативе нобелевского лауреата, академика А. М. Прохорова и проф. И. В. Евсеева стали организовываться международные конференции «LPHYS», способствовавшие популяризации журнала «Laser Physics». Во всем этом Игорю принадлежала существенная организационная роль.

В 1986 г. в г. Йошкар-Ола в Марийском госуниверситете под руководством И. И. Попова было начато создание установки фотонного эха в газах. В качестве резонансной среды были выбраны пары молекулярного йода, рабочая температура которых совпадала с комнатной. Важную помощь в знакомстве со специалистами по спектроскопии йода и в приобретении кюветы с его парами оказал Игорь Викторович. Экспериментальная установка по фотонному эху в парах молекулярного йода была создана в МарГУ в 1988 г., и на ней были поставлены фундаментальные эхо-эксперименты по обнаружению нефарадеевского поворота вектора поляризации стимулированного СЭ, по исследованию ассоциативных поляризационных свойств СЭ, а также пионерские эксперименты по оптической эхо-спектроскопии сверхзвуковых охлаждающих газовых струй. Нередко Игорь давал ценные советы в постановке задач в области оптической эхо-спектроскопии газов и в детальных обсуждениях результатов. Он – автор более десяти научных работ с коллегами из Йошкар-Олы.

В 1990 г. один из авторов данной статьи (В.В.С.) приступил к написанию совместной монографии с Игорем Викторовичем Евсеевым и Валерием Михайловичем Ермаченко «Деполяризующие столкновения в нелинейной электродинамике», рукопись которой после прохождения процедуры редподготовки была издана в виде книги в 1992 г. в Москве в издательстве «Наука» [9]. Это первая монография Игоря. Она была достаточно популярной среди специалистов и в 2004 г. эта книга была переведена на английский язык и издана в США издательством CRC Press LLC в штате Флорида [10]. В аннотации книги написано, что она передана на хранение в библиотеку Конгресса США.

Журнал «Laser Physics Letters», первый выпуск которого вышел в 2004 г., ныне очень популярен среди авторов статей и их читателей. Благодаря строгому отбору, в основном, экспериментальных лазерных работ каждый выпуск журнала включал несколько выдающих-

ся статей и поэтому получил высокий импакт-фактор (напрмер, в 2011 г. он составлял 9,97). Все это потребовало от Игоря больших усилий и напряжения.

Выше отмечалось, что последние 15 лет Игорь Викторович активно сотрудничал с новосибирской экспериментальной группой, возглавляемой Наталией Николаевной Рубцовой в Институте Полупроводников СО РАН. Игорь и я (В.В.С.) хорошо знакомы со всеми работами Рубцовой, были оппонентами на ее защите кандидатской диссертации в 1983 г. в Новосибирске и были задействованы (КФТИ КНЦ РАН был ведущим учреждением) при защите ею в 1997 г. докторской диссертации. Чтобы вызвать улыбку читателя данной статьи, приведем здесь забавный случай, связанный с защитой Рубцовой кандидатской диссертации. Был 1983 г., когда запрещены были все банкеты, связанные с защитами. Наташа Рубцова, как законопослушный ученый, вежливо попрощалась после защиты со своими оппонентами – мною и Игорем. Тогда мы (полный Самарцев и тощий Евсеев) решили потратить деньги, заработанные на оппонировании, в ресторане (кажется, «Золотая Долина»). Мы сели за стол и заказали лучшие блюда. И, вот, в самый разгар трапезы стул под тощим Игорем резко затрещал и развалился. Игорь сильно покраснел и разволновался, чем напугал официантов, которые потом весь вечер только за ним и смотрели.

Кажется, в 2005 г. в Светлогорске Калининградской области на восьмом международном симпозиуме по фотонному эху и когерентной спектроскопии (ФЭКС–2005) я (В.В.С.) договорился с Наташей Рубцовой, что мы (Евсеев, Рубцова и я) напишем совместную книгу по фотонному эху в газах и согласовали детальный план книги. Как законопослушный ученый, Наташа стала присылать мне главу за главой, но я, к моему стыду, три года (2006-2008 гг.) был сильно перегружен, пытался что-то выдать, но безуспешно. Поскольку характер у Наташи нордический, она терпела мое безделье, но всегда при встречах смотрела на меня строго, а Игорь тактично молчал. Наконец, в конце 2008 г. я (В.В.С.) выдал «на гора» две главы и, благодаря Тане Митрофановой, мы все оформили в виде книги «Фотонное эхо и фазовая память в газе» и издали ее в Издательстве КазанскогоУниверситета в начале 2009 г. [11]. Будучи в командировке в Москве, кажется в мае 2009 г., я передал часть тиража Игорю на Казанском вокзале. Я сказал ему, чтобы он не ждал меня (поскольку я шел медленно из-за больных ног), но вежливый и хороший друг – Игорь, довез меня до станции «Ленинский проспект», откуда я направился в РФФИ. Радости Наташи Рубцовой не было конца – она прислала по электронной почте фотографию, где Наташа размахивает совместной книгой. А далее нам совсем повезло: РФФИ объявил дополнительный конкурс на издание книг в начале 2009 г. Мы подали экспресс-заявку и были поддержаны. В конце 2009 г. наша книга «Когерентные переходные процессы в оптике» вышла в издательстве «Физматлит» в Москве [12]. Она была расширена и содержала уже 8 глав, причем 8 глава представляла собой русскоязычный вариант моего (В.В.С.) обзора в «Laser Physics» [13], появившегося в этом журнале благодаря приглашению Игоря. Надеемся, что она выйдет в Великобритании (Кембридже) на английском языке в конце 2012 г. Итак, в активе Игоря пять книг, из которых две – на английском языке. Одну из коллективных фотографий, снятых в Дубне на 1-ой конференции LPHYS–1992 помещаем здесь, где слева направо: Евсеев, Самарцев, Хартманн (США), Попов.

Все складывалось очень хорошо. Игорь Викторович Евсеев получил всемирную известность среди ученых-физиков как один из издателей высокоцитируемых журналов и организатор международных конференций по лазерной физике. К своим друзьям и коллегам он относился очень хорошо и всегда помогал им, чем мог. Но вот в начале 2012 г. мы получили печальную весть: 3 января в своей квартире профессор Евсеев Игорь Викторович найден мертвым. Жил он один, и квартиру пришлось вскрывать брату Александру. Его смерть была потрясением для всех нас. Ему было всего 67 лет. Он производил впечатление сильного и здорового человека. Видимо, сказалась огромная, непосильная (для одного человека) нагрузка.



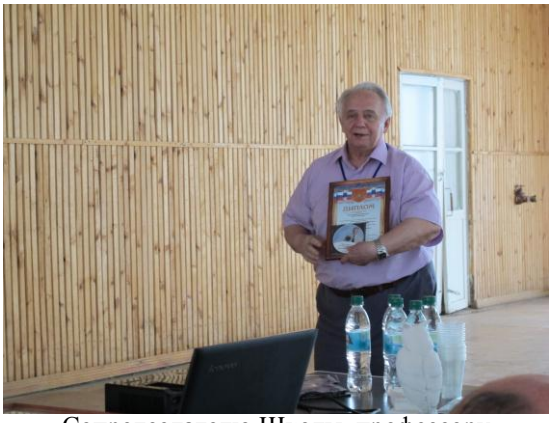
В редакциях журналов «Laser Physics» и «Laser Physics Letters» наступило оцепенение. Все вдруг глубоко поняли, что для деятельности журналов значил Игорь. Сразу же возникла мысль, что, возможно, Игоря в работе с журналами сможет заменить его брат – Александр Викторович Евсеев. Прошедшие после смерти Игоря полгода показали, что Александру удается справляться с огромной нагрузкой.

Тело Игоря было подвергнуто кремации на Ваганьковском кладбище города Москвы, а прах хранится в колумбарии этого кладбища рядом с прахом его родителей. Невольно приходят в голову стихи Беллы Ахмадуллиной:

«По улице моей который год
Звучат шаги – мои друзья уходят…»
«Запущены моих друзей дела,
Нет в их домах ни музыки, ни пенья…».
Так и хочется добавить:
«Но в памяти останутся всегда
совместные с Евсеевым мгновенья…».
Про таких, как Игорь, говорят:
«Не говори с тоской – «Их нет!»,
а с благодарностью – «Были».

Список литературы

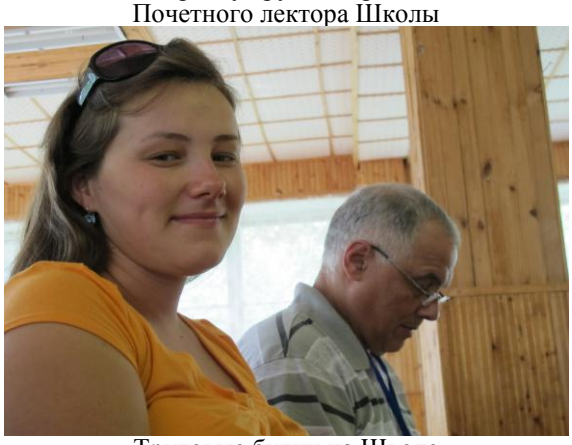
[1] А.И. Алексеев, И.В. Евсеев, *ЖЭТФ* **56** (1969) 2118.
[2] C.K.N. Patel, R.E. Slusher, *Phys. Rev. Lett.* **20** (1968) 1087.
[3] Материалы 1-го всесоюзного симпозиума по световому эху, *Изв. АН СССР, сер. физ.* **37** (1973) выпуск 10.
[4] С.С. Алимпиев, Н.В. Карлов, *ЖЭТФ* **63** (1972) 482.
[5] R.G. Brewer, A.Z. Gennak, S.R. Grossman, In: *Laser Spectroscopy*, Springer, Germany **7** (1977) 220.



Сопредседателю Школы, профессору В. В. Самарцеву вручен первый диплом Почетного лектора Школы



Ученый секретарь В.А. Козлов встречает своих земляков профессоров Л.А. Любовцову и А.А. Шуканова



Трудовые будни на Школе



Сопредседатель Школы проф. В.Г. Зинов – об инновациях



Ученый секретарь В.А. Козлов поздравил председателя Школы И.И. Попова с наступившим юбилеем



Почетный лектор Школы, д.ф.-м.н. Р.Ф. Полищук выступает с очередной потрясающей лекцией



А.А. Агибалов представляет фирму и проект «Интест»



Зам. ген. директора по науке и инновациям ОАО «РТ-Биотехпром» – об открытых инновациях



Проф. О.С. Сироткин конкурирует с периодической системой Д.И. Менделеева



Передача эстафеты поколений: сопредседатели Школы ученик И.И. Попов и учитель В.В. Самарцев



Профессора А.А. Шуканов, В.А. Козлов, С.Я. Алибеков и Ю.Б. Грунин во время встречи на Школе



Почетные лектора Школы В.В. Самарцев и Д.В. Николаев – в режиме полного взаимопонимания



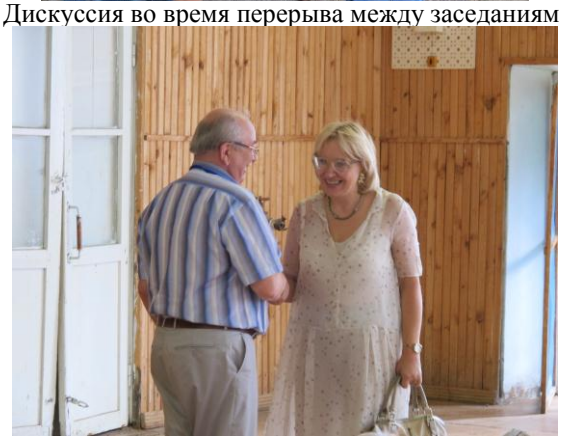
Презентация инновационного вуза Казани – КФУ



Дискуссия во время перерыва между заседаниям



С.А. Степанов и Н.И. Сушенцов: «С позиции наноэлектроники – это конечно интересно!»



Встреча сопредседателей Школы Н.Г. Кураковой и И.И. Попова



Почетный лектор Школы проф. В.А. Голенищев-Кутузов демонстрирует уроки мастерства



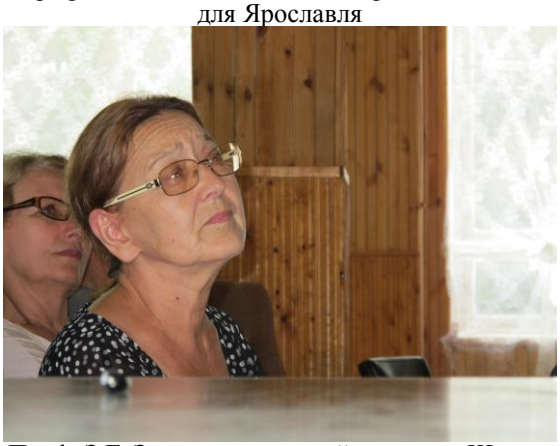
Мастер-класс проводит ген. директор НИЦ им. Н. Теслы Р.Ф. Мюллер: СВЧ-источник света



Проф. А.А. Мельников делает фото на память для Ярославля



Лекции почетного лектора Школы И.П. Зелди всегда интересны



Проф. З.Г. Зорина – активный участник Школы



Доцент Л.Б. Киселева и ректор МИО Н.М. Кузнецова задают ритм работы Школы



В творческом порыве



Глубоко профессиональный вопрос задает проф. М.Б. Белоненко


Встреча с марийским картом


Незабываемая встреча в Больших Карамасах Волжского района


Святое место в Больших Карамасах Волжского района


Марийское гостеприимство в Больших Карамасах Волжского района


На озере «Голубой глаз», серебряном призере конкурса «Семь чудес света»


Марийская свадьба в селе Карай Волжского района встречает участников Школы


На марийской свадьбе в селе Карай Волжского района


На свадьбе погуляли и подарки получили

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Наука и инновации
ISS «SI–2013»

Золото России — не в рудниках,
Золото России — в умах!



Йошкар–Ола 2013

Восьмая международная научная школа «Наука и инновации — 2013»:

С 6 июля по 11 июля 2013 года в г. Йошкар–Ола, на базе Поволжского государственного технологического университета и Марийского института образования в пансионате с лечением «Яльчик» проводится Восьмая международная научная школа «Наука и инновации – 2013».

Организаторы Школы:

Российский фонд фундаментальных исследований
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере
Фонд «Международный инкубатор технологий»
Министерство образования и науки Республики Марий Эл
ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН
ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»
ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»: ФИТБ
ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»
Филиал «Мариэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья»
Российская Академия Естественных Наук
Российская Академия Естествознания
ГУ Национальный парк «Марий Чодра»
Малое предприятие «ОРОЛ»

Почтовый адрес и контакты Оргкомитета:
424001, Республика Марий Эл, г. Йошкар – Ола, пл. Ленина, 3; тел.: (8362) 677806; E-mail: popov@volgatech.net
Информация о подготовке и проведении Школы: http://new.marsu.ru/index.php
http://new.marsu.ru/GeneralInformation/structur/BasicUnits/fackultet/eef/department_of_electromechanics/science_amp_inn/

Программа научной школы *включает:*

VIII международный научный семинар «Фундаментальные исследования и инновации»

Секция «Инноватика»
Секция «Физика резонансных явлений и ее инновационные аспекты»
Секция «Физика-материаловедение-технологии-оборудование»
Секция «Химия, новые материалы и химические технологии»
Секция «Живые системы и биотехнологии»
Секция «Скрининговая оценка качества здоровьесберегающей образовательной среды»
Секция «Экологические проблемы общества»
Секция «Информационные технологии и их инновационный потенциал»
Секция «Проблемы гумагитарных технологий»
Стендовая секция «Инновационно-ориентированные прикладные научные исследования»

Клуб профессорской мысли

Всероссийский молодежный научный семинар «Наука и инновации – 2013»

Министерство образования и науки Республики Марий Эл
ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ
СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
«НАУКА И ИННОВАЦИИ – 2012»
ISS «SI–2012»

Материалы Седьмого международного научного семинара
«Фундаментальные исследования и инновации»
и Всероссийского молодежного научного семинара
«Наука и инновации – 2012»

Редакторы: Н.М. Кузнецова, И.И. Попов, В.А. Козлов, В.В. Самарцев, В.Г. Зинов

Дизайн и компьютерная верстка В. А. Козлова

Подписано к печати 10.08.2012. Бумага офсетная. Гарнитура Тип Таймс.
Усл. печ. л. 18,0. учетно-изд.л. 16,59. Тираж 100.

Отпечатано на ризографе в ГБОУ ДПО (ПК) С «Марийский институт образования»
424918, г. Йошкар-Ола, с. Семеновка, ул. Интернатская, 7

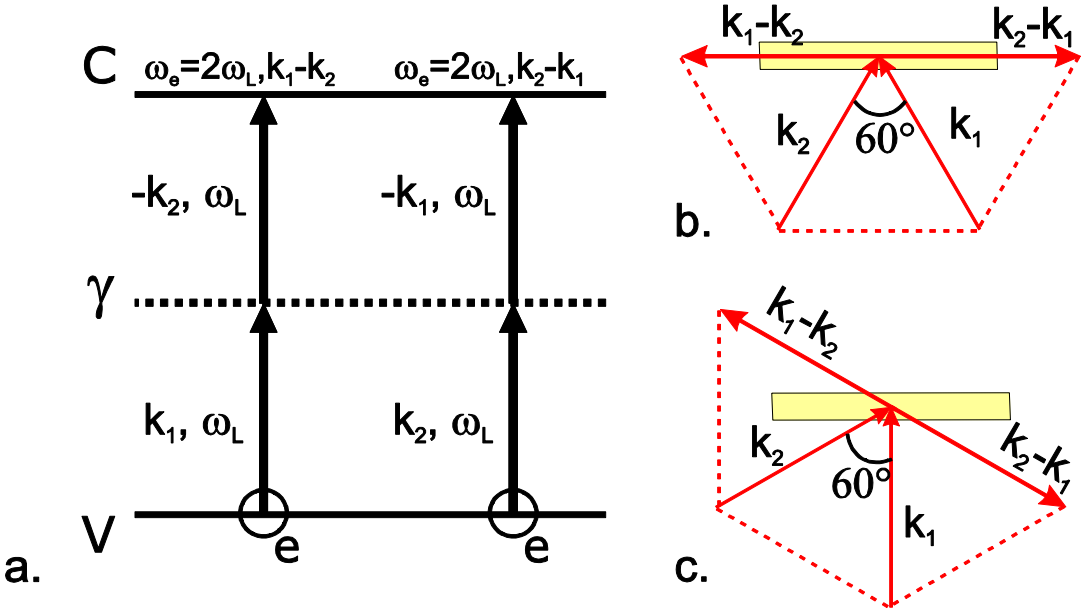


ЛАУРЕАТ КОНКУРСА «ОРИГИНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ – 2012»

За обнаружение и объяснение явления «перепутанного» свободно-индуцированного спада в кристалле сульфида кадмия в условиях двухфотонного возбуждения двумя скрещенными лазерными пучками.

В. В. Самарцев

При реализации этого явления как при спонтанном параметрическом рассеянии света рождаются коррелированные пары фотонов (бифотоны), находящиеся в «перепутанном» (entangled) состоянии и описываемые единой волновой функцией. Бифотоны находят применение в спектроскопии примесных кристаллов, поляризационной томографии поля, криптографии, телепортации и при создании однофотонных источников.



Формирование в образце CdS ЭПР-пары (a), симметричная схема возбуждения (b) и экспериментально удобная схема возбуждения (c):
V – валентная зона;
e – электроны,
C – зона проводимости