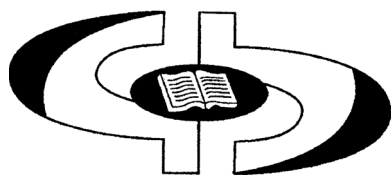


Научно-теоретический и информационно-методический журнал
Белорусского республиканского фонда
фундаментальных исследований

Издается с III квартала 1997 г.



№ 3 [73], 2015

Зарегистрирован
в Министерстве информации
Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации
№ 426 от 29.05.2009

Учредители:
Национальная академия
наук Беларуси,
Белорусский
республиканский
фонд
фундаментальных
исследований

220072, г. Минск,
пр. Независимости, 66;
тел. 284-07-42,
284-25-08

Издатель:
РУП «Издательский дом
«Беларуская навука»

**ВЕСТНИК
ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
С. В. Гапоненко

Заместитель главного редактора
А. П. Ласковнев
А. И. Лесникович

Ответственный секретарь
Н. Н. Костюкович

Члены редколлегии:

О. В. Алейникова	В. Ф. Логинов
П. И. Балтрукович	А. И. Локотко
А. В. Бильдюкевич	А. А. Лукашанец
А. Н. Витченко	А. А. Махнач
П. А. Витязь	А. Г. Мрочек
И. В. Гайшун	П. Г. Никитенко
А. Е. Дайнеко	В. А. Орлович
В. С. Камышников	В. И. Поткин
А. К. Карабанов	Л. М. Томильчик
А. В. Кильчевский	А. В. Тузиков
А. А. Коваленя	В. С. Улащик
Э. И. Коломиец	Ю. С. Харин
Н. П. Крутько	Л. В. Хотылева
Н. А. Ламан	С. Н. Черенкевич

Минск, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ КОНКУРСОВ

Совместный тематический конкурс проектов фундаментальных и прикладных научных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Витебского областного исполнительного комитета «БРФФИ–Витебск-2015»	5
Конкурс совместных проектов фундаментальных исследований Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Академии наук Молдовы «БРФФИ–АНМ-2015»	7
Совместный конкурс проектов фундаментальных исследований Национальной академии наук Беларуси и Сибирского отделения Российской академии наук «НАНБ (БРФФИ)–СО РАН-2015»	10
Совместный конкурс исследовательских проектов Национальной академии наук Беларуси и Национальной академии наук Украины «НАНБ (БРФФИ)–НАНУ-2015»	18
Конкурс совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ–НЦНИ-2015»	21

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Домаш В. И., Батсүрэн Д. Т. Н., Батхуу Ж. Г., Иванов О. А., Шарпио Т. П., Забрейко С. А. Компоненты протеиназно-ингибиторной системы у дикорастущих видов семейства Asteraceae флоры Монголии и Беларуси: физико-химические и биологические свойства.....	23
Кузнецова Т. Ф., Иванец А. И. Синтез мезопористых ксерогелей и мембран в условиях золь-гель-перехода алкоксидной смеси титана (IV) и кремния (IV)	35
Пашкевич С. Г., Чаляян Г. С., Стукач Ю. П., Волокитин Е. О., Ханило Л. С., Аганянц О. А., Чаляян С. Г., Кульчицкий В. А. Анализ когнитивных процессов у крыс после интраназального или внутримышечного введения пролиннасыщенного пептида (PRP-1)....	53
Алексеев Г. Д., Батурицкий М. А., Белоус А. И., Божаткин О. А., Дворников О. В., Михайлов В. А., Пискун А. А., Солин А. А., Солин А. В., Солодуха В. А., Терехов Г. С., Токменин В. В., Шведов С. В. Разработка электроники считывания для новых экспериментов по физике частиц и высоких энергий	59
Вежновец В. В., Шкуте А. Возможности естественного восстановления утраченных популяций реликтовых ракообразных на примере бывшего водоема-охладителя АЭС	74
Нестерович А. Н. Синдром дезорганизации при шизофрении: вклад средовых и генетических факторов.....	91

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Зейналов Э. Б., Магеррамова М. Я. Окисление изопропилбензола	112
---	-----

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Костюкович Н. Н. Наблюдение английскими астрономами полного солнечного затмения 21 августа 1914 года в Минске: предыстория, люди, события, судьбы (продолжение).....	124
---	-----

**The scientific-theoretical and information-methodical journal
of the Belarusian Republican Foundation
for Fundamental Research**

Issued since the 3rd quarter of 1997



N 3 [73], 2015

Registered in
The Ministry of Information
of the Republic of Belarus,
Certificate
№ 426 of May 29, 2009

The founders:
The National Academy
of Sciences of Belarus,
The Belarusian
Republican
Foundation
for Fundamental
Research

220072, Minsk,
Independence Av., 66;
ph. 284-07-42,
284-25-08

The publisher:
RUE «Publishing House
«Belaruskaya navuka»

**VESTNIK
OF THE FOUNDATION
FOR FUNDAMENTAL
RESEARCH**

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
S. V. Gaponenko

Deputy Editors-in-Chief

A. P. Laskaunev
A. I. Lesnikovich

Executive Secretary
N. N. Kostyukovich

Editorial board members:

O. V. Aleinikova	N. A. Laman
P. I. Baltrukovich	V. F. Loginov
A. V. Bilydukevich	A. I. Lokotko
S. N. Cherenkevich	A. A. Lukashanets
A. Ye. Daineko	A. A. Makhnach
I. V. Gaishun	A. G. Mrochek
V. S. Kamyshnikov	P. G. Nikitenko
A. K. Karabanov	V. A. Orlovich
Yu. S. Kharin	V. I. Potkin
L. V. Khotylyova	L. M. Tomilchik
A. V. Kilchevsky	A. V. Tuzikov
E. I. Kolomiets	V. S. Ulashchik
A. A. Kovalenya	A. N. Vitchenko
N. P. Krut'ko	P. A. Vityaz

Minsk, 2015

CONTENTS

COMPETITIONS RESULTS

Joint thematic competition «BRFFR-Vitebsk-2015» of fundamental and applied research of the BRFFR and the Vitebsk Oblast Executive Committee.....	5
Competition «BRFFR–ASM-2015» of joint fundamental research projects of the BRFFR and the Academy of Sciences of Moldova	7
Joint competition «NASB (BRFFR)–SB RAS-2015» of the projects of fundamental research of the National Academy of Sciences of Belarus and the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.....	10
Joint competition «NASB (BRFFR)–NASU-2015» of research projects of the National Academy of Sciences of Belarus and the National Academy of Sciences of Ukraine.....	18
Competition of joint scientific projects of the BRFFR and the French National Center for Scientific Research «BRFFR–CNRS-2015»	21

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Domash V. I., Batsuren D. T. N., Batkhuu J. G., Ivanov O. A., Sharpio T. P., Zabreiko S. A. Components of proteinase-inhibitor system in wild species of Asteratseae family from Mongolian and Belarusian flora: the physico-chemical and biological properties.....	23
Kuznetsova T. F., Ivanets A. I. The synthesis of mesoporous xerogels and membranes in conditions of sol–gel-transition of titanium (IV) and silicon (IV) alcoxide mixture	35
Pashkevich S. G., Chailyan G. S., Stukach Yu. P., Volokitin E. O., Khanilo L. S., Aganyants H. A., Chailyan S. G., Kulchitsky V. A. Analysis of cognitive processes in rats after intranasal or intramuscular application of proline rich peptide (PRP-1).....	53
Alexeev G. D., Batouritski M. A., Belous A. I., Bozhatkin O. A., Dvornikov O. V., Mikhailov V. A., Piskun A. A., Shvedov S. V., Solin A. A., Solin A. V., Solodukha V. A., Terkhov G. S., Tokmeninh V. V. The muon system project for new particle and high energy physics experiments.....	59
Vezhnavets V. V., Škute A. The natural recovery possibilities of the relict crustacean lost populations in the case of the former cooler reservoir at nuclear power plant.....	74
Nestsjarovich A. N. Disorganization syndrome in schizophreria: the contribution of environmental and genetic factors.....	91

SCIENTIFIC REVIEWS

Zeynalov E., Magerramova M. Oxidation of isopropylbenzene	112
--	-----

FROM THE HISTORY OF SCIENCE

Kostyukovich N. N. Observation by English astronomers of the total solar eclipse of August 21, 1914 in Minsk: background, people, events, destinies (continued).....	124
---	-----

ИТОГИ КОНКУРСОВ

СОВМЕСТНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ КОНКУРС ПРОЕКТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИТЕБСКОГО ОБЛАСТНОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА «БРФФИ–ВИТЕБСК-2015»

В декабре 2014 г. Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований совместно с Витебским областным исполнительным комитетом в соответствии с заключенным между ними Соглашением был объявлен совместный тематический конкурс проектов фундаментальных и прикладных научных исследований, на который поступило 10 заявок. По результатам независимой экспертизы и конкурсного отбора бюро Научного совета БРФФИ и Витебским областным исполнительным комитетом принято решение о финансировании 3 проектов. Ниже публикуется перечень финансируемых проектов, сгруппированных по 2 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя, шифр и название проекта, название организации-исполнителя. Срок выполнения проектов установлен с 04.06.2015 по 31.12.2016. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя.

Секция технических наук

1. ЦАРЕНКО Ю. В. *Проект* T15BT-003
Получение протяженных объемных наноструктурированных материалов с использованием ультразвуковой обработки.

Исполнитель: Институт технической акустики НАН Беларуси.

2. ШИЛИН А. Д. *Проект* T15BT-008
Влияние высокоэнергетической ультразвуковой обработки на фазовый состав и микроструктуру новых метастабильных материалов со структурой типа перовскита.

Исполнитель: Витебский государственный технологический университет.

Секция физики, математики и информатики

3. ПОДДУБНАЯ Н. Н. *Проект* Ф15ВТ-007
Нелинейный магнитоэлектрический эффект в композиционных мультифер-
роиках.

Исполнитель: Институт технической акустики НАН Беларуси.

КОНКУРС СОВМЕСТНЫХ ПРОЕКТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И АКАДЕМИИ НАУК МОЛДОВЫ «БРФФИ–АНМ-2015»

В соответствии с заключенным между Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) и Академией наук Молдовы (АНМ) Соглашением о сотрудничестве в декабре 2014 г. был объявлен конкурс совместных проектов фундаментальных исследований «БРФФИ–АНМ-2015», на который поступило 38 заявок. По результатам независимой экспертизы и конкурсного отбора поданных заявок бюро Научного совета БРФФИ и Президиумом АНМ принято совместное решение о финансировании 15 научных проектов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных научных проектов, сгруппированных по 6 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с молдавской стороны. Срок выполнения проектов установлен с 01.07.2015 по 30.06.2017. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя.

Секция аграрно-биологических наук

1. АНУФРИК С. С. *Проект* Б15МЛД-003
Изучение закономерностей биоаккумуляции тяжелых металлов цианобактериями методом РФА для разработки способа очистки сточных вод.
Исполнители: Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Институт микробиологии и биотехнологии АН Молдовы.
2. КУЗОВКОВА А. А. *Проект* Б15МЛД-019
Скрининг сортов яблок белорусской и молдавской селекции на содержание пищевых аллергенов методами протеомного и геномного анализов.
Исполнители: Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Университет АН Молдовы.
3. КУХАРЧИК Н. В. *Проект* Б15МЛД-035
Оздоровление селекционно-ценных генотипов рода *Prunus domestica* от известных и ранее не описанных в Молдове изолятов вируса шарки сливы (*Plum pox virus*) в культуре *in vitro* и *ex vitro*.
Исполнители: Институт плодоводства НАН Беларуси, Научно-практический институт садоводства, виноградарства и пищевых технологий.

4. ЛАПА В. В. *Проект* Б15МЛД-028
Восстановление гумусного состояния деградированных дерново-подзолистых почв Беларуси и камбиковых черноземов центральной Молдовы путем дифференцированного применения агротехнических и фитомелиоративных приемов.

Исполнители: Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н. А. Димо АН Молдовы.

5. МЕЛЬНОВ С. Б. *Проект* Б15МЛД-029
Проблемы укрепления общественного здоровья в контексте социальной биоэтики и внедрения инновационных биомедицинских технологий.

Исполнители: Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ, Государственный университет медицины и фармации «Н. Тестемицану».

6. РАЗЛУЦКИЙ В. И. *Проект* Б15МЛД-023
Оценка влияния двухстворчатых моллюсков-вселенцев на планктонные сообщества водных экосистем Республики Молдова и Республики Беларусь.

Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Институт зоологии АН Молдовы.

7. САМУСЕНКО И. Э. *Проект* Б15МЛД-026
Белый аист и лебедь-шипун: популяционные риски вследствие синантропизации в условиях нарастания последствий изменения климата и антропогенного преобразования среды.

Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Институт зоологии АН Молдовы.

Секция медико-фармацевтических наук

8. СНЕЖИЦКИЙ В. А. *Проект* М15МЛД-027
Клинико-морфологические особенности элементов клапанного аппарата и кровоснабжения сердца человека.

Исполнители: Гродненский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Кишиневский государственный университет медицины и фармации «Н. Тестемицану».

Секция общественных и гуманитарных наук

9. ШИРОКАНОВ Д. И. *Проект* Г15МЛД-018
Методология комплексной оценки качества природной среды как основа исследования качества жизни человека в условиях глобальных социоприродных преобразований.

Исполнители: Институт философии НАН Беларуси, Институт юридических и политических исследований АН Молдовы.

Секция технических наук

10. РОГАЧЕВ А. В. *Проект* T15МЛД-033

Разработка и исследование активных оптических сред на основе ZnO : Me/RE.

Исполнители: Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Институт электронной инженерии и нанотехнологий им. Д. Гицу АН Молдовы.

Секция физики, математики и информатики

11. КОВАЛЕВ В. А. *Проект* Ф15МЛД-009

Современные технологии высокопроизводительных вычислений для повышения эффективности обработки и анализа медицинских изображений.

Исполнители: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Институт математики и информатики АН Молдовы.

12. КОТОВ В. М. *Проект* Ф15МЛД-022

Разработка моделей и эффективных алгоритмов для решения прикладных оптимизационных задач на дискретных структурах.

Исполнители: Белорусский государственный университет, Молдавский государственный университет.

13. СОБОЛЬ В. Р. *Проект* Ф15МЛД-025

Мессбауэровская и оптическая спектроскопия многокомпонентных халькогенидов для полупроводниковой фотовольтаики.

Исполнители: Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, Технический университет Молдовы.

14. ХОДАСЕВИЧ М. А. *Проект* Ф15МЛД-008

Классификация белых и красных вин по их географическому происхождению с помощью базирующегося на применении нечеткой логики многопараметрического анализа их спектральных характеристик.

Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Научно-практический институт садоводства, виноградарства и пищевых технологий.

Секция химии и наук о Земле

15. ИВАНЕЦ А. И. *Проект* X15МЛД-021

Металлоксидные катализаторы для очистки подземных вод: получение, свойства, применение.

Исполнители: Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Институт химии АН Молдовы.

**СОВМЕСТНЫЙ КОНКУРС ПРОЕКТОВ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ
И СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
«НАНБ (БРФФИ)–СО РАН-2015»**

В соответствии с Договором о научном сотрудничестве между НАН Беларуси и Сибирским отделением РАН от 22 января 2009 г., на основании Положения о проведении совместного конкурса проектов фундаментальных исследований НАН Беларуси и Сибирским отделением РАН, утвержденного постановлением Президиума Сибирского отделения РАН от 22 января 2015 г. № 9 и постановлением Бюро Президиума НАН Беларуси от 26 января 2015 г. № 22, и с целью консолидации усилий академий наук для финансирования научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Российской Федерации по актуальным для обеих сторон научным направлениям, в 2015 г. проведен совместный конкурс проектов фундаментальных исследований «НАНБ (БРФФИ)–СО РАН-2015», на который поступило 59 проектов. На основании результатов независимой экспертизы и по согласованию с Сибирским отделением РАН постановлением Бюро Президиума НАН Беларуси от 26 июня 2015 г. № 272 принято решение о выделении 40 грантов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных научных проектов, сгруппированных по 6 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с российской стороны. Срок выполнения проектов установлен с 01.07.2015 по 31.12.2017. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя.

Секция аграрно-биологических наук

1. ГОРДЕЙ И. А.

Проект

B15CO-022

Молекулярно-цитогенетические особенности организации и функционирования родительских геномов у аллополиплоидных гибридов пшеницы с рожью с целью разработки эффективной технологии получения продуктивных гибридных форм для использования в селекции.

Исполнители: Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН.

2. ДУБОВЕЦ Н. И. *Проект* Б15СО-030
Изучение и использование гибридных форм пшеницы в геномной селекции.
Исполнители: Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Институт цитологии и генетики СО РАН.
3. КАНДЕЛИНСКАЯ О. Л. *Проект* Б15СО-053
Природные органические соединения лишайников Беларуси и криолитозоны Якутии: исследование и возможное использование.
Исполнители: Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН.
4. КИЛЬЧЕВСКИЙ А. В. *Проект* Б15СО-051
Молекулярно-генетические механизмы формирования окраски овощных и злаковых культур.
Исполнители: Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Институт цитологии и генетики СО РАН.
5. КРАСОЧКО И. А. *Проект* Б15СО-049
Конструирование оригинальных противовирусных препаратов на основе искусственных рибонуклеаз и оценка их противовирусной активности в отношении возбудителей вирусных инфекций животных, причиняющих значительный экономический ущерб современному животноводству.
Исполнители: Институт экспериментальной ветеринарии им. С. Н. Вышелеского НАН Беларуси, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.
6. РЕШЕТНИКОВ В. Н. *Проект* Б15СО-038
Разработка стратегии применения синтезированных наночастиц металлов как модификаторов биосинтеза вторичных метаболитов в лекарственных растениях и их культурах *in vitro*.
Исполнители: Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Центральный сибирский ботанический сад СО РАН.
7. УСАНОВ С. А. *Проект* Б15СО-046
Идентификация орфанных белков микобактерий.
Исполнители: Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.

Секция медико-фармацевтических наук

8. ДУБОВСКАЯ Л. В. *Проект* M15CO-025
Анализ циркулирующих экзосом крови в норме и при раке молочной железы.
Исполнители: Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.
9. КУЛЬЧИЦКИЙ В. А. *Проект* M15CO-056
Репродуктивный потенциал мужского населения урбанизированных регионов Западной Сибири и Республики Беларусь: эффекты на здоровье социо-культурных и эколого-климатических факторов.
Исполнители: Институт физиологии НАН Беларуси, Институт цитологии и генетики СО РАН.
10. ЩЕРБИН Д. Г. *Проект* M15CO-041
Комплексы мимиков и антагонистов микроРНК с катионными дендримерами для направленной индукции апоптоза опухолевых клеток.
Исполнители: Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.

Секция общественных и гуманитарных наук

11. ШПАК А. П. *Проект* Г15CO-059
Исследование возможностей применения агентно-ориентированного подхода к моделированию информационно-коммуникативных взаимодействий на продовольственном рынке пространства Россия–Беларусь.
Исполнители: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН.

Секция технических наук

12. БОРОДУЛЯ В. А. *Проект* T15CO-010
Научные основы перспективных технологий угольных топливных элементов и энергетически эффективного и экологически безопасного сжигания торфа и древесной биомассы.
Исполнители: Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН.

13. ВИТЯЗЬ П. А. *Проект* T15CO-005
Физико-химические процессы управляемого механохимического синтеза композиционных наноструктурированных порошков на основе ферромагнитных сплавов с заданным уровнем магнитных и абразивных свойств для суперфинишной обработки поверхностей.
Исполнители: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН.
14. ВИТЯЗЬ П. А. *Проект* T15CO-050
Влияние кривизны нанокристаллической структуры различного масштабного уровня и возникновения в зонах кривизны межузельных бифуркационных вакансий на процессы пластического деформирования, усталостного разрушения и изнашивания наноструктурных материалов, покрытий и их сварных соединений.
Исполнители: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН.
15. ЛАСКОВНЕВ А. П. *Проект* T15CO-032
Разработка нового класса износостойких нанокomпозиционных материалов, формируемых при комбинированном электронно-ионно-плазменном воздействии на поверхность литых силуминов заэвтектического состава.
Исполнители: Физико-технический институт НАН Беларуси, Институт сильноточной электроники СО РАН.
16. МАКОВЕЦКИЙ Г. И. *Проект* T15CO-058
Твердые растворы на основе монотеллурида марганца: термоэлектрические и магнитные свойства.
Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН.
17. ПИЛИНЕВИЧ Л. П. *Проект* T15CO-055
Исследование закономерностей синтеза и распределения упрочняющей фазы в металлической матрице композитов при импульсной обработке дисперсных сред электрофизическими методами.
Исполнители: Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН.
18. СМОРЫГО О. Л. *Проект* T15CO-020
Разработка и исследование нанокomпозитных структурированных катализаторов и каталитических мембран на основе ячеистых материалов из аморфного углерода.
Исполнители: Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.

Секция физики, математики и информатики

19. АРШИНОВ К. И. *Проект* Ф15СО-003
Влияние температуры газа на столкновительное уширение линий поглощения молекул CO_2 разнородными одно- и двухатомными газами.
Исполнители: Институт технической акустики НАН Беларуси, Институт оптики атмосферы СО РАН.
20. БУРАКОВ В. С. *Проект* Ф15СО-013
Исследование процессов формирования металл-углеродных и интерметаллидных наноструктур в плазме электрических разрядов, их получение и свойства.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН.
21. ГАПОНЕНКО С. В. *Проект* Ф15СО-034
Новые наногетероструктуры: синтез, оптические свойства и разработка высокочувствительных методов их анализа.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики полупроводников СО РАН.
22. ГОНЧАРЕНКО А. М. *Проект* Ф15СО-047
Проектирование, формирование и экспериментальное исследование гибких металл-полимерных высокопоглощающих неотражающих покрытий на основе трехмерных элементов для СВЧ и ТГц диапазона.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики полупроводников СО РАН.
23. ДЕМЬЯНОВ С. Е. *Проект* Ф15СО-016
Электромагнитные эффекты в гибридных наноматериалах на основе углеродных нанотрубок и полупроводниковых наночастиц при взаимодействии с терагерцовым и микроволновым излучением.
Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН.
24. ДЖАГАРОВ Б. М. *Проект* Ф15СО-036
Фотофизические и фотохимические процессы и реакции с участием синглетного кислорода в молекулярных и наносистемах.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт химической кинетики и горения СО РАН.

25. КИЛИН С. Я. *Проект* Ф15СО-054
Кубиты для задач квантовой информатики и квантовой метрологии.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт лазерной физики СО РАН.
26. КОВАЛЕВ М. Я. *Проект* Ф15СО-043
Комбинаторные модели и методы теории расписаний и их приложения в системах поддержки принятия решений.
Исполнители: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН.
27. ЛОЙКО В. А. *Проект* Ф15СО-039
Формирование, структурные, поляризационные и электрооптические свойства вытянутых композитных пленок на основе полимеров, жидких кристаллов и сурфактантов.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН.
28. ЛУЦЕНКО Е. В. *Проект* Ф15СО-052
Создание и исследование свойств наногетероструктур на основе нитрида галлия для КВЧ транзисторов.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт физики полупроводников СО РАН.
29. МАЛАШКЕВИЧ Г. Е. *Проект* Ф15СО-028
Новые Ln-содержащие оптические материалы на основе наноструктурированных кремнеземных и боратных систем.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт лазерной физики СО РАН.
30. ОРЛОВИЧ В. А. *Проект* Ф15СО-014
Исследование процессов переноса энергии в кристаллах вольфраматов, активированных ионами Tm^{3+} и Ho^{3+} и генерационных характеристик лазеров на их основе в зависимости от концентрации активаторов.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт лазерной физики СО РАН.
31. ТРОЯНЧУК И. О. *Проект* Ф15СО-008
Новые материалы для применения в спинтронике.
Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН.

32. ТУЗИКОВ А. В. *Проект* Ф15СО-026
Разработка средств интеллектуальной программной поддержки для ускоренного решения трудоемких задач цифровой обработки информации.
Исполнители: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Институт автоматизации и электротехники СО РАН.
33. ЧАЙКОВСКИЙ А. П. *Проект* Ф15СО-023
Развитие оптических технологий для дистанционного контроля параметров атмосферы на основе наземного и спутникового дистанционного зондирования.
Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт оптики атмосферы СО РАН.
34. ЯНУШКЕВИЧ К. И. *Проект* Ф15СО-044
Электронные и магнитные фазовые переходы в материалах с магнитоэлектрическим эффектом.
Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН.

Секция химии и наук о Земле

35. АВЕРИНА Н. Г. *Проект* Х15СО-011
Влияние климатических факторов на формирование химического состава торфов болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири.
Исполнители: Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Институт химии нефти СО РАН.
36. АГАБЕКОВ В. Е. *Проект* Х15СО-037
Разработка научных основ жидкофазной каталитической переработки лигнинов в ценные химические продукты и компоненты моторных топлив.
Исполнители: Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.
37. КУЛАК А. И. *Проект* Х15СО-018
Алициклические спирты и фенолы в реакциях нуклеофильного замещения нитрогруппы N-алкил-3-нитро-5-R-1,2,4-триазолов.
Исполнители: Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

38. ЛАХВИЧ Ф. А.

Проект

X15CO-001

Химические модификации растительных метаболитов терпеновой и поликетидной природы с целью получения новых политаргетных биомолекул с противовоспалительным и противоопухолевым действием.

Исполнители: Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Новосибирский институт общей химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН.

39. МИНКИНА В. Г.

Проект

X15CO-004

Разработка каталитического генератора высокочистого водорода для автономного зарядного устройства на основе топливных элементов.

Исполнители: Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.

40. ПОТКИН В. И.

Проект

X15CO-006

Функционализированные азольные системы на основе активированных енонов, гетерилкарбонильных соединений и их элементорганических производных для разработки эффективных подходов к синтезу полезных продуктов из доступного промышленного хлорорганического сырья.

Исполнители: Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН.

СОВМЕСТНЫЙ КОНКУРС ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ И НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ «НАНБ (БРФФИ)–НАНУ-2015»

В соответствии с Договором о научном сотрудничестве между НАН Беларуси и НАН Украины от 7 февраля 2002 г., на основании Дополнительного соглашения № 1 к нему от 2 марта 2015 г. и с целью консолидации усилий академий наук для финансирования научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Украины по актуальным для обеих сторон научным направлениям, в 2015 г. проведен совместный конкурс исследовательских проектов «НАНБ (БРФФИ)–НАНУ-2015», на который поступило 68 проектов. На основании результатов независимой экспертизы и по согласованию с НАН Украины постановлением Бюро Президиума НАН Беларуси от 26 июня 2015 г. № 272а принято решение о выделении 12 грантов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных научных проектов, сгруппированных по 5 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с российской стороны. Срок выполнения проектов установлен с 01.07.2015 по 30.06.2017. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя.

Секция аграрно-биологических наук

1. КИЛЬЧЕВСКИЙ А. В. *Проект* Б15УК/А-041
Взаимосвязь экспрессии генов белков целлюлозосинтезирующего комплекса клеточной стенки и цитоскелета льна.

Исполнители: Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Институт пищевой биотехнологии и геномики НАН Украины.

Секция медико-фармацевтических наук

2. ЗАЛУЦКИЙ И. В. *Проект* М15УК/А-040
Молекулярно-биологические эффекты и механизмы воздействия лактоферрина на опухолевые клетки в системах *in vitro* и *in vivo*.

Исполнители: Институт физиологии НАН Беларуси, Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им. Р. Е. Кавецкого НАН Украины.

Секция технических наук

3. БОРОДУЛЯ В. А. *Проект* T15УК/А-008
Теплообмен и аэродинамика при пластовом сжигании разных видов твердого биотоплива и сельскохозяйственных отходов.

Исполнители: Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Институт технической теплофизики НАН Украины.

4. ГОРДИЕНКО А. И. *Проект* T15УК/А-054
Скоростная термообработка деталей крепления и изделий медицинского назначения из титановых сплавов.

Исполнители: Физико-технический институт НАН Беларуси, Институт металлوفизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины.

5. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ Ю. М. *Проект* T15УК/А-067
Исследование нелинейной динамики пространственного распределения ионных и электронных носителей заряда в полярно-активных тонкослоистых мезо- и наноразмерных структурах.

Исполнители: Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Институт физики НАН Украины.

6. СУДНИК Л. В. *Проект* T15УК/А-068
Исследование физико-химических основ инженерии новых многофункциональных материалов на основе МАХ фаз и их твердых растворов.

Исполнители: Обособленное подразделение «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством» Института порошковой металлургии НАН Беларуси, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины.

Секция физики, математики и информатики

7. АСТАШИНСКИЙ В. М. *Проект* Ф15УК/А-045
Плазмодинамические системы нового поколения, генерирующие компрессионные плазменные потоки заданного состава, и их возможности для получения материалов с новыми свойствами.

Исполнители: Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Институт физики плазмы Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины.

8. КРОТ А. М. *Проект* Ф15УК/А-048
Разработка алгоритмов обработки, кодирования, анализа и передачи сенсорных данных для составления трёхмерных карт местности в задачах ориентирования мобильных роботов и беспилотных аппаратов.

Исполнители: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины.

9. НИЗОВЦЕВ А. П. *Проект* Ф15УК/А-050
Теоретическое изучение свойств парамагнитных центров окраски в функционализированном наноалмазе методами квантовой химии.

Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт монокристаллов НАН Украины.

10. САЙКО А. П. *Проект* Ф15УК/А-063
Исследование свойств нанокристаллов TiO_2 и ZnO и композитов на их основе для использования в области фотоники и спинтроники.

Исполнители: Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт физики НАН Украины.

Секция химии и наук о Земле

11. КУЗНЕЦОВА Т. Ф. *Проект* Х15УК/А-037
Композиционные сорбенты на основе пористого керамического субстрата и органо-неорганических гибридных материалов.

Исполнители: Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Институт химии поверхности НАН Украины.

12. МАТВЕЕВ А. В. *Проект* Х15УК/А-009
Системный анализ природных и природно-антропогенных опасностей и рисков на территории Украины и Беларуси.

Исполнители: Институт природопользования НАН Беларуси, Институт географии НАН Украины.

**КОНКУРС СОВМЕСТНЫХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ
БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФРАНЦИИ «БРФФИ–НЦНИ-2015»**

В соответствии с заключенным между НАН Беларуси и Национальным центром научных исследований Франции (НЦНИ) Соглашением о научном сотрудничестве, в 2014 г. был объявлен конкурс совместных научных проектов «БРФФИ–НЦНИ-2015», на который подано 6 заявок. По результатам независимой экспертизы и конкурсного отбора в соответствии с решением Совместной комиссии НЦНИ и НАН Беларуси с участием БРФФИ (протокол от 29.05.2015) принято решение о выделении 6 грантов. Ниже публикуется перечень финансируемых совместных научных проектов, сгруппированных по 2 секциям. По каждому проекту приводится следующая информация: фамилия и инициалы руководителя с белорусской стороны, шифр и название проекта, название организации-исполнителя с белорусской стороны, название организации-исполнителя с французской стороны. Срок выполнения проектов установлен с 20.07.2015 по 30.06.2017. В каждом из разделов перечня проекты перечислены в алфавитном порядке по фамилии руководителя.

Секция общественных и гуманитарных наук

1. МАЦУК А. В. Проект Г15Ф-001
Французские и франкоязычные рукописи в Беларуси (XVIII – начала XX в.).
Исполнители: Институт истории НАН Беларуси, Институт современных текстов и рукописей (НЦНИ).
2. ПОДКОПАЕВ В. В. Проект Г15Ф-006
Гуманитарные науки во Франции и Беларуси: особенности организации и перспективы развития.
Исполнители: Институт философии НАН Беларуси, Центр социальных наук – Альпы НЦНИ.
3. ТИКОВЕНКО А. Г. Проект Г15Ф-005
Проблемы повышения эффективности судебной власти в Республике Беларусь и во Французской Республике.
Исполнители: Белорусский государственный университет, Институт Луи-Фаворо.

Секция физики, математики и информатики

4. КРИВОШЕЕВА А. В. *Проект* Ф15Ф-003
Атомно-слоевое осаждение и свойства гомо- и гетероструктур из гексагональных двумерных кристаллов.

Исполнители: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Междисциплинарный центр нанотехнологий Марселя – НЦНИ.

5. СИМОНЧИК Л. В. *Проект* Ф15Ф-004
Распространение мощного СВЧ излучения через электромагнитные кристаллы с плазменными неоднородностями: применения в перестраиваемых СВЧ элементах.

Исполнители: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Лаборатория плазмы и преобразования энергии – НЦНИ.

6. УГЛОВ В. В. *Проект* Ф15Ф-002
Радиационная стойкость нанокompозитных и многослойных высокотвердых покрытий ZrSiN.

Исполнители: Белорусский государственный университет, Университет Пуатье, Лаборатория физики материалов НЦНИ.

*Раздел подготовлен
главным специалистом отдела зарубежных связей
и информационного обеспечения*

Р. А. Сальниковой

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 582.998:577.15(517.3)+(476)

В. И. ДОМАШ¹, Д. Т. Н. БАТСУРЭН², Ж. Г. БАТХУУ³, О. А. ИВАНОВ¹,
Т. П. ШАРПИО¹, С. А. ЗАБРЕЙКО¹

КОМПОНЕНТЫ ПРОТЕИНАЗНО-ИНГИБИТОРНОЙ СИСТЕМЫ У ДИКОРАСТУЩИХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ASTERACEAE ФЛОРЫ МОНГОЛИИ И БЕЛАРУСИ: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

¹Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси

²Институт химии и химической технологии Монгольской академии наук

³Монгольский национальный университет

(Поступила в редакцию 12.03.2015)

Приводятся сведения о разнообразии уровня активности ингибиторов протеиназ, одного из компонентов протеиназно-ингибиторной системы, у дикорастущих видов растений семейства Asteraceae флоры Монголии и Беларуси. Из листьев перспективных видов растений *Taraxacum mongolicum* и *Echinacea purpurea* с помощью хроматографических методов получены препараты ингибиторов протеиназ, установлены их физико-химические и биологические (антикоагулянтные, кардиопротекторные, цитотоксические и фунгистатические) свойства. Это открывает возможность использования данных препаратов в медицине и сельском хозяйстве.

Введение. Дикорастущие виды растений являются богатейшим источником биологически активных веществ, многие из которых широко используются в медицине. Флора высших растений Монголии включает более 3000 видов, среди которых целый ряд лекарственных, широко применяемых в монгольской народной и тибетской медицине видов [1]. Богатым источником лекарственных растений является и флора Беларуси, среди которых наиболее распространенным является семейство Asteraceae.

Известно, что протеиназно-ингибиторная система является одной из ключевых молекулярно-биохимических систем клетки живого организма и, в частности, растения. Протеолитические ферменты играют большую роль в различных проявлениях жизнедеятельности растений: дифференцировке тканей, росте и развитии растений, защитных реакциях и др. [2]. Один из путей регуляции ак-

тивности протеолитических ферментов в растениях, животных и микроорганизмах реализуется посредством белков – ингибиторов протеиназ. Отличительной особенностью этих белков является способность образовывать с ферментами обратимо связываемые комплексы, в составе которых ферменты теряют свою активность. Кроме регуляторных функций белки-ингибиторы являются частью системы устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам среды. Ингибиторы протеиназ также используются в медицине для лечения ряда заболеваний, связанных с повышением активности протеиназ [3]. Ингибиторы протеолиза растительного происхождения имеют ряд преимуществ перед животными. К ним относится высокое сродство к ферменту ($K_1 = 10^{-11}$ М) и высокая специфичность, что представляется ценным в практическом их использовании. Кроме того, в растительных объектах имеется различный спектр белковых ингибиторов с довольно низкой молекулярной массой, чем обусловлена их повышенная проницаемость и функциональность [4]. Литературные сведения касаются главным образом культурных растений, относительно дикорастущих видов данные очень фрагментарны. Данные об ингибиторах протеолиза дикорастущих видов семейства Asteraceae появились совсем недавно [5].

Цель исследований – получение новых данных об активности природных ингибиторов различных классов протеаз представителей сем. Asteraceae дикорастущей флоры Монголии и Беларуси и изучение их физико-химических и биологических свойств.

Материалы и методы исследований. Коллекционные образцы для анализа были предоставлены сотрудниками лаборатории биоорганической химии биологического факультета Монгольского национального университета (г. Улан-Батор). Кроме того, объектом исследований служили и представители дикорастущей флоры Беларуси. Исследовали подземные части (корни, корневища, клубни), надземную вегетативную массу (листья) различных видов растений.

Растительный материал, предназначенный для выделения белков – ингибиторов протеиназ, предварительно нарезали на мелкие части и высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Затем его измельчали в муку при помощи лабораторной мельницы.

Полученную муку упаковывали в бумажные пакеты и хранили при температуре 5–6 °С до использования.

Активность белков – ингибиторов трипсина определяли по методу Гофмана и Вайсбля [6] с некоторыми нашими изменениями. Метод основан на способности трипсина расщеплять синтетический субстрат БАПА (бензоил-аргинин-п-нитроанилид) с образованием окрашенного в желтый цвет *p*-нитроанилина, имеющего максимум поглощения при длине волны 405 нм.

Активность ингибиторов α -химотрипсина папаина и субтилизина оценивали с использованием белкового субстрата азоказеина по методу [7].

Выделение и очистку ингибиторов протеиназ проводили с использованием гелевой и ионообменной хроматографии.

Фунгитоксическую активность определяли по общепринятой методике [8] и рассчитывали по формуле

$$T = (D_k - D_0) / D_k \cdot 100,$$

где T – подавление роста колонии по сравнению с контролем, %; D_k – диаметр колонии в контроле, мм; D_0 – диаметр колонии в опыте.

Содержание белка определяли по методу Лоури в модификации Хартри [9] и Бредфорд [10].

Электрофорез белков проводили по методу Лэммли [11].

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 и 2 представлены результаты исследований активности ингибиторов протеиназ в различных органах растений семейства Asteraceae флоры Монголии и Беларуси.

Т а б л и ц а 1. Активность ингибиторов сериновых и цистеиновых протеиназ в листьях дикорастущих видов Монголии

Вид растений	Место произрастания	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г в.с.м.	Активность ингибиторов цистеиновых протеиназ (папаина), ИЕ/г в.с.м.
<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et. Kit.	Tuv province, Altanbulag soum	21,22 ± 0,76	0,83 ± 0,02
<i>Artemisia gmelinii</i> Web. Ex. Stechm.	Selenge province, Baruunkharaa soum	48,86 ± 0,54	0,69 ± 0,03
<i>Artemisia changaica</i> Krasch.	Uvurkhangai province, Burd soum	50,87 ± 0,98	0,61 ± 0,01
<i>Artemisia messerschmidiana</i> Bess.	Selenge province, Baruunkharaa soum	14,66 ± 0,65	0,071 ± 0,04
<i>Artemisia demissa</i> Krasch.	Umnugobi province, Khanbogd soum	37,89 ± 1,02	0,70 ± 0,05
<i>Artemisia santolinifolia</i> Turcz. ex Bess.	Uvurkhangai province, Burd soum	40,88 ± 1,21	0
<i>Artemisia subdigitata</i> Mattf.	Umnugobi province, Khanbogd soum	13,75 ± 0,65	0
<i>Artemisia sphaerocephala</i> Krasch.	Umnugobi province, Khanbogd soum	29,07 ± 0,87	0,60 ± 0,02
<i>Axyris amaranthoides</i> L.	Tuv province, Erdenesant soum	40,81 ± 0,99	0,63 ± 0,03
<i>Arctogeron gramineum</i> (L.) DC.	Tuv province, Bayanchandmani soum	4,87 ± 0,16	2,09 ± 0,15
<i>Crepis tectorum</i> L.	Tuv province, Bayanchandmani soum	57,97 ± 0,86	2,18 ± 0,11
<i>Crepis crocea</i> (Lam.) Babc.	Tuv province, Bayanchandmani soum	56,61 ± 1,01	1,93 ± 0,08
<i>Echinops latifolius</i> Tausch.	Tuv province, Batsumber soum	10,33 ± 0,34	2,33 ± 0,04
<i>Filifolium sibiricum</i> (L.) Kitam.	Selenge province, Baruunkharaa soum	11,55 ± 0,25	2,28 ± 0,05

Окончание табл. 1

Вид растений	Место произрастания	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г в.с.м.	Активность ингибиторов цистеиновых протеиназ (папаина), ИЕ/г в.с.м.
<i>Inula britannica</i> L.	Tuv province, Batsumber soum	51,08 ± 0,98	2,92 ± 0,06
<i>Ixeridium sinence</i> (A.Gray) Tzvel.	Selenge province, Baruunkharaa soum	45,07 ± 1,00	2,00 ± 0,09
<i>Galatella dahurica</i> DC.	Selenge province, Baruunkharaa soum	52,25 ± 0,67	2,65 ± 0,04
<i>Senecio vulgaris</i> L.	Tuv province, Bayanchandmani soum	31,23 ± 0,54	0,75 ± 0,07
<i>Taraxacum collinum</i> DC.	Tuv province, Arkhust soum	37,34 ± 0,34	1,86 ± 0,12
<i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.-Mazz.	Tuv province, Bayanchandmani soum, Tseeniin am	324,22 ± 2,52	3,13 ± 0,08

Т а б л и ц а 2. Активность ингибиторов протеиназ в различных органах растений флоры Беларуси

Вид растений	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г в.с.м.	Активность ингибиторов химотрипсина, ИЕ/г в.с.м.	Активность ингибиторов субтилизина, ИЕ/г в.с.м.
<i>Antennaria dioica</i> Gaertn. (кошачья лапка)	31,49 ± 0,43 (листья) 87,42 ± 3,23 (корнев.)	— 3,50 ± 0,05	— 1,34 ± 0,06
<i>Arctium lappa</i> L. (лопух большой)	4,64 ± 0,29 (листья) 11,87 ± 0,14 (корнев.)	2,27 ± 0,14 2,21 ± 0,22	0,73 ± 0,14 0,87 ± 0,16
<i>Artemisia campestris</i> L. (полынь полевая)	6,80 ± 0,21 (листья) 7,13 ± 0,09 (корнев.)	— 1,96 ± 0,02	— 1,67 ± 0,06
<i>Centaurea scabiosa</i> L. (василек шерохов.)	6,34 ± 0,11 (листья) 34,78 ± 0,52 (корнев.)	2,08 ± 0,04 2,38 ± 0,08	1,20 ± 0,05 1,19 ± 0,006
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. (бодяк полевой)	1,15 ± 0,03 (листья)	0 акт.	0 акт.
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq. (мелколепестничек канадский)	98,88 ± 2,09 (листья)	2,66 ± 0,07	1,27 ± 0,04
<i>Echinacea purpurea</i> (эхинацея пурпурная)	210,6 ± 3,96 (листья) 239,6 ± 9,51 (корнев.)	1,18 ± 0,05 2,26 ± 0,02	1,11 ± 0,06 0,76 ± 0,09
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (топинамбур)	3,81 ± 0,16 (листья) 1,95 ± 0,04 (клубни)	2,26 ± 0,11 1,60 ± 0,01	0,93 ± 0,04 0,47 ± 0,02
<i>Hieracium sylvestri</i> Tausch (ястребинка)	2,64 ± 0,08 (листья) 21,15 ± 0,77 (корнев.)	2,43 ± 0,15 2,84 ± 0,21	1,03 ± 0,07 0,88 ± 0,02
<i>Inula helenium</i> L. (девясил высокий)	3,84 ± 0,40 (корнев.)	2,26 ± 0,11	1,07 ± 0,09
<i>Lapsana communis</i> L. (бородавник обыкновен.)	100,22 ± 3,60 (листья)	2,1 ± 0,08	1,03 ± 0,08
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort (мицелис стеной)	263,27 ± 1,29 (листья) 58,7 ± 1,02 (корнев.)	0 акт. —	0 акт. —

Окончание табл. 2

Вид растений	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г в.с.м.	Активность ингибиторов химотрипсина, ИЕ/г в.с.м.	Активность ингибиторов субтилизина, ИЕ/г в.с.м.
<i>Pilosella officinarum</i> F. Schultz et Sch. Bip. (ястребиночка волосистая)	32,74 ± 1,49 (листья)	4,77 ± 0,3	1,65 ± 0,04
	27,28 ± 1,25 (корнев.)	5,06 ± 0,01	2,62 ± 0,11
<i>Parmica cartilaginea</i> Ledeb. (чихотник хрящеватый)	6,73 ± 0,49 (листья)	6,93 ± 0,15	6,23 ± 0,12
	7,93 ± 0,24 (корнев.)		
<i>Senecio paludosus</i> L. Sp. pl. (костовник болотный)	5,51 ± 0,37 (листья)	3,47 ± 0,13	3,29 ± 0,05
	13,30 ± 0,55 (корнев.)	1,89 ± 0,19	1,85 ± 0,04
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. (одуванчик лекарств.)	34,43 ± 1,91 (листья)	4,86 ± 0,14	0 акт.
	12,73 ± 0,25 корень	3,49 ± 0,18	2,40 ± 0,13

Как видно из данных табл. 1, активность ингибиторов трипсина варьирует от 4,87 ИЕ (*Arctogeron gramineum*) до 324,22 ИЕ/г в.с.м. (*Taraxacum mongolicum*). Активность цистеиновых протеиназ варьирует от 0,07 до 3,13 ИЕ/г в.с.м. Следует отметить, что у исследованных видов растений рода *Artemisia*, произрастающих в разных районах Монголии, уровень активности ингибиторов трипсина варьирует от 13,75 до 50,87 ИЕ/г в.с.м.

Как показали результаты исследований, уровень активности ингибиторов протеиназ в исследованных видах растений флоры Беларуси также варьирует в широких пределах. Наиболее высокая активность ингибиторов трипсина отмечена в листьях мицелиса стенного и в листьях и корневищах эхинацеи пурпурной (263,3; 210,6; 239,6 ИЕ). Анализ показывает, что уровень активности ингибиторов протеиназ в образцах флоры Монголии несколько выше, чем в образцах флоры Беларуси, что, возможно, связано с климатическими условиями. Наиболее перспективные виды растений флоры Монголии и Беларуси являлись объектом наших дальнейших исследований.

Представляло интерес разработать способ выделения и очистки ингибиторов протеиназ из листьев *Taraxacum mongolicum* (одуванчика монгольского) и *Echinacea purpurea* (эхинацеи пурпурной) как наиболее перспективных и распространенных видов растений.

Для выделения ингибиторов воздушно-сухие листья размалывали на лабораторной мельнице, после чего навеску муки экстрагировали 0,2 М раствором хлористого натрия в соотношении 1 : 20, в течение 10–12 ч при температуре 4–5 °С, затем смесь центрифугировали при 6000 об/мин в течение 15 мин при температуре 4–5 °С, экстракт подкисляли 0,5 н HCl при pH 4,0 в течение 2–3 ч до образования осадка, который центрифугировали при тех же условиях. Из полученной надосадочной жидкости высаливали белки сульфатом аммония при 80 %-ном насыщении в течение 24 ч, после чего полученный осадок центрифугировали и использовали для хроматографии на определенных сорбентах (гелевая и ионообменная хроматография). На рис. 1 представлен общий вид хроматографии на акрилексе P-30.

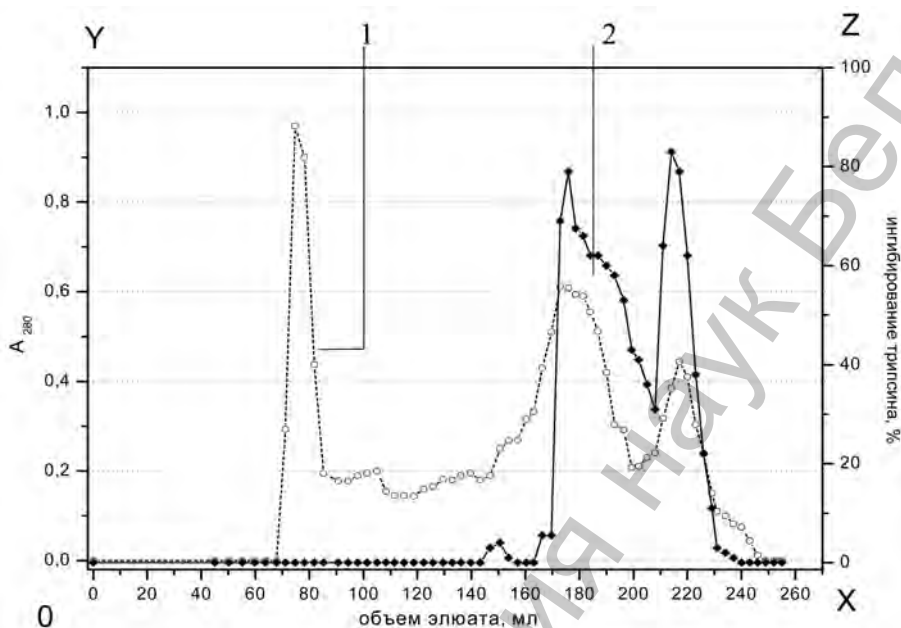


Рис. 1. Хроматография ингибиторов протеиназ из листьев *Taraxacum mongolicum* на акрилексе P-30: 1 – A₂₈₀; 2 – ингибиторы протеиназ

В каждой фракции элюата, выходящего из колонки, определяли поглощение белка при 280 нм и измеряли активность ингибиторов протеиназ. Результаты

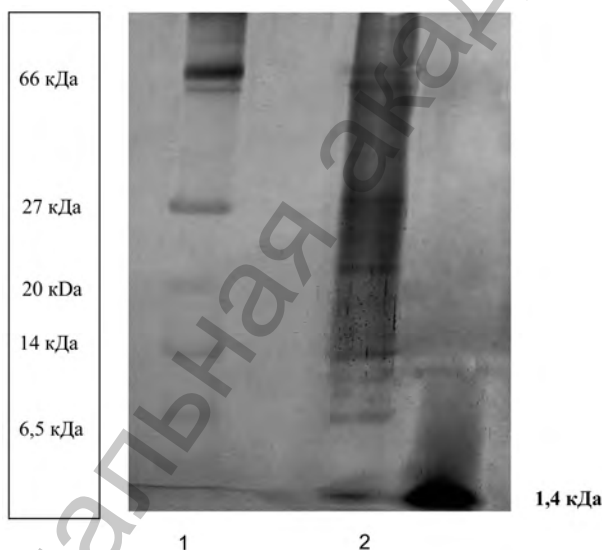


Рис. 2. Электрофорез белка-ингибитора из листьев одуванчика монгольского в ПААГ: 1 – исходный экстракт; 2 – после хроматографии

анализа позволили установить, что основная фракция с ингибиторной активностью элюируется при объеме элюата 160–240 мл. Эти фракции собирали, концентрировали на ротационном выпаривателе при температуре 30–40 °С в течение 1–2 ч и высушивали. Получали препарат белка, обладающий ингибиторной активностью по отношению к трипсину или папаину. На рис. 2 представлен электрофорез белка выделенного препарата. Молекулярная масса ингибитора трипсина составляет 1,4 кДа.

Подобным образом получен и препарат ингибиторов про-

теолиза из корневищ эхинацеи пурпурной, одного из наиболее применяемых в мире в лечебных целях растений. Молекулярная масса препарата равна около 5 кДа.

Как показали исследования, препарат стабилен в широком диапазоне pH от слабокислых (3,0) до слабощелочных (8,0) значений. Препарат обладает и термостойкостью. Для исследования термостойкости препарата исследовали его раствор, содержащий 25 мкг/мл белка в 0,05 М трис-HCl буфере, pH 7,6. Термостойкость изучали при 40, 50, 60, 70, 80 и 90 °С соответственно. Исследуемые растворы нагревали в течение 20 мин на водяной бане при выше названных температурах, затем охлаждали до комнатной температуры, после чего по стандартной методике определяли их трипсинингибирующую активность. На рис. 3 видно, что активность ингибиторов трипсина не изменялась в пределах от 40 до 70 °С. В случае нагревания до 80 и 90 °С наблюдалась лишь небольшая потеря ингибиторной активности, не более 3 % от начальной.

Представляло интерес и изучение биологических свойств полученных препаратов белковых ингибиторов протеиназ. Известно, что ведущее значение в профилактике и лечении ряда сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний имеют препараты с антикоагулянтным, антиагрегационным и антиканцерогенным действием [12]. Сопутствующими проблемами лечения препаратами является в ряде случаев развитие резистентности, а также побочное действие в виде ряда осложнений, которые являются одним из наиболее частых побочных действий лекарственной терапии и ведут к опасным желудочно-кишечным кровотечениям. В связи с этим многообещающими выглядят препараты растительного происхождения. Наши исследования [13] показали, что фракции пептидов из экстрактов *Taraxacum mongolicum* и *Echinacea purpurea* L. обладают способностью угнетать активность не только трипсина, но и тромбина.

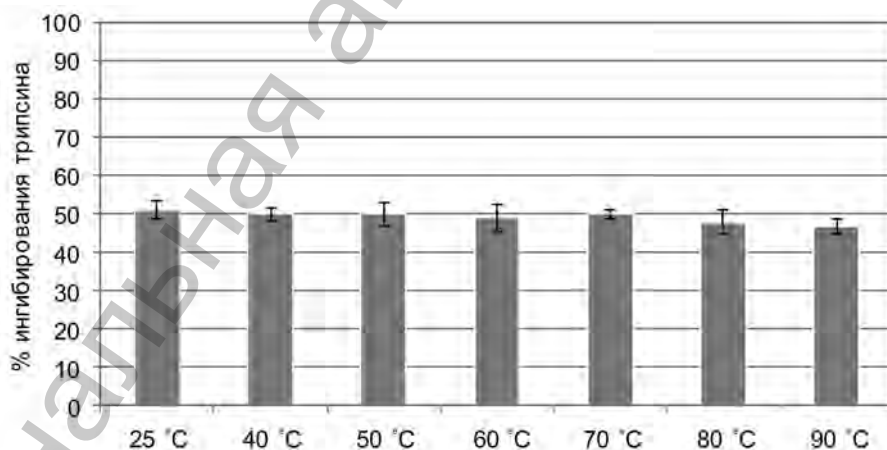


Рис. 3. Температурная зависимость ингибиторной активности препарата из корневищ эхинацеи по отношению к трипсину

Исследованы эффекты выделенных ингибиторов трипсина/тромбина из этих растений. Изучено действие препаратов на показатели АДФ-индуцированной агрегации в обогащенной тромбоцитами плазме крови крыс-самцов линии Wistar.

Установлено, что при введении крысам EpI в дозе 0,17 мг/кг через 1 ч скорость процесса агрегации у животных опытной группы была снижена на 26 % по сравнению с животными контрольной группы (при $p = 0,007$). Через 3 ч отмечалось более выраженное (на 50 %, $p = 0,006$) ингибирование агрегационного процесса, а у животных с дозой вводимого препарата 0,51 мг/кг – ингибирование скорости агрегации на 67 %, $p = 0,00001$. Отмечено, что через 1 ч при дозе 0,17 мг/кг фаза инициации агрегационного процесса составляла 14 ± 2 с ($p = 0,0004$ по сравнению с контролем), при дозе 0,51 мг/кг – $8 \pm 1,7$ с ($p = 0,048$ по сравнению с контролем), в контроле $10,7 \pm 1,2$ с.

Пероральное введение раствора препарата из одуванчика монгольского в дозах 0,6 мг/кг и 0,1 мг/кг крысам в течение 30 суток способствовало достоверному снижению процесса АДФ-индуцированной агрегации на 60 % по сравнению с контролем ($p < 0,05$), в дозе 0,2 мг/кг – на 50 % по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$). Отмечено достоверное увеличение периода инициации АДФ-индуцированной агрегации тромбоцитов крыс, которым вводили субстанцию TmI в диапазоне 0,1–0,6 мг/кг, по сравнению с группой плацебо-контроля в 11, 8 и 10 раз соответственно [14].

Поскольку лиофилизированная субстанция низкомолекулярных пептидов листьев одуванчика монгольского оказывала благоприятное действие на систему гемостаза, предполагалось, что исследуемое вещество окажет положительное влияние и на функцию сердечно-сосудистой системы.

Исследования позволили установить, что у крыс SHR в исследуемом возрастном диапазоне (16 недель) в группе плацебо отмечается углубление зубца Q, выраженная элевация ST-сегмента. У крыс, которым вводили лиофилизированную фракцию препарата на протяжении 30 суток в дозе 0,6 мг/мл, наблюдалась нормализация глубины зубца Q в сравнении с контролем ($-1,9 \pm 0,7$ мВ по сравнению с $-4,8 \pm 0,8$ мВ, $p = 0,02$). В отношении изменения амплитуды зубца T также наблюдалась положительная динамика с возрастанием дозы субстанции TM, вводимой животным. Как оказалось, наибольший эффект в снижении амплитуды зубца T зарегистрирован в группе 3 (0,6 мг/кг TM) ($1,8 \pm 0,4$ мВ по сравнению с $7 \pm 1,8$ мВ – плацебо, $p = 0,002$) [15].

Были также проведены исследования антипролиферативных свойств препарата из одуванчика монгольского. Было обнаружено, что препарат из одуванчика монгольского в концентрации 77 мкг/мл способен угнетать и рост опухолевых клеток рака легких по отношению к контролю (доксорубин) на 89 % [16].

Отсутствие побочных действий *Taraxacum mongolicum* для нормальных клеток позволит предлагать его биологически активные вещества для разработки новых противоопухолевых лекарственных средств.

Весьма важным и перспективным является исследование действия указанных препаратов на рост и развитие фитопатогенной инфекции.

Нами проанализирована способность полученного из корневищ *Echinacea purpurea* и листьев *Taraxacum mongolicum* препарата угнетать прорастание спор фитопатогенных грибов родов *Fusarium*, *Helminthosporium* и *Alternaria*. Установлено, что препарат из эхинацеи пурпурной в концентрации 26, 43 и 126 мкг/мл угнетал прорастание спор указанных фитопатогенов соответственно в среднем на 50, 76,4 и 60,2 % по отношению к контролю. Наблюдалось подавление роста и развития спор изученных фитопатогенов с различной степенью выраженности, зависящей как от видовой принадлежности фитопатогена, так и от концентрации препарата.

Показано также, что препарат ингибиторов протеиназ из листьев одуванчика монгольского в концентрации 20,8; 34,6 и 104 мкг/мл угнетал прорастание спор фитопатогенов соответственно в среднем на 79,4, 50 и 63,5 % по отношению к контролю. В ходе эксперимента установлено, что при повышении концентрации препарата в некоторых случаях наблюдалось снижение эффекта, что, возможно, связано с проявлением эффекта агрегации спор при воздействии высоких концентраций препарата.

Отдельно проведенные исследования с препаратом ингибиторов протеиназ из листьев *Taraxacum mongolicum* показали его способность угнетать рост мицелия в культуральной жидкости *Fusarium oxysporum* и *Colletotrichum gloesporioides* (табл. 3 и 4).

Т а б л и ц а 3. Действие препарата из *Taraxacum mongolicum* на рост и развитие фитопатогенов (масса мицелия)

Концентрация препарата, %	Фитопатогены			
	<i>Fusarium oxysporum</i>		<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	
	масса, г	% угнетения	масса, г	% угнетения
Контроль	13,52 ± 0,24	–	7,64 ± 0,21	–
0,1	4,20 ± 0,03	68,9	2,00 ± 0,01	73,8
0,2	1,52 ± 0,21	88,7	1,32 ± 0,02	82,7

Т а б л и ц а 4. Действие препарата из *Taraxacum mongolicum* на активность экзогенных протеолитических ферментов (ЕА/мл) в культуральной жидкости фитопатогенов

Концентрация препарата, %	Фитопатогены			
	<i>Fusarium oxysporum</i>		<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	
	ЕА/мл	% угнетения	ЕА/мл	% угнетения
Контроль	10,1 ± 0,1	–	13,30 ± 0,12	–
0,1	5,95 ± 0,02	58,9	6,85 ± 0,11	48,5
0,2	4,30 ± 0,03	70,4	4,00 ± 0,04	66,9

Как видно из данных табл. 3 и 4, препарат в концентрации 0,1 % угнетает рост мицелия исследуемых фитопатогенов в среднем на 71,3 %, а в 0,2 %-ной концентрации – на 85,7 %. Кроме того, наблюдается и угнетение активности секретируемых в культуральную жидкость протеаз в среднем на 53,7 и 68,2 % соответственно.

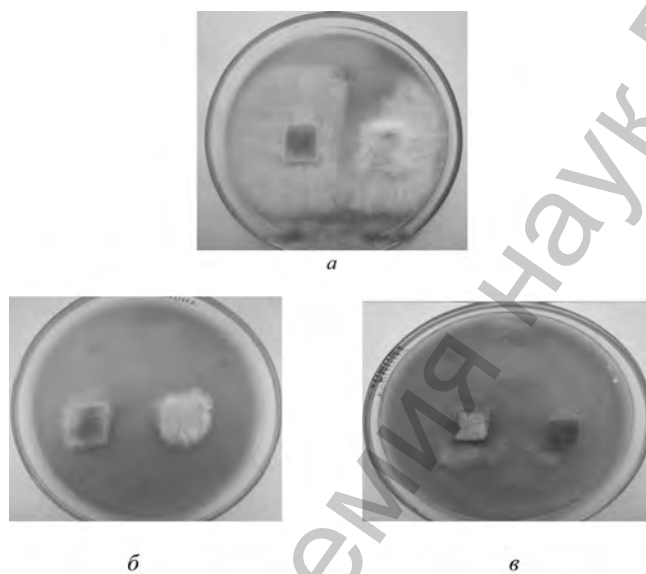


Рис. 4. Действие препарата из листьев *Taraxacum mongolicum* на рост мицелия *Colletotrichum gloeosporioides*: а – контроль; б – 0,1 %-ный препарат по д. в.; в – 0,2 %-ный препарат по д. в.

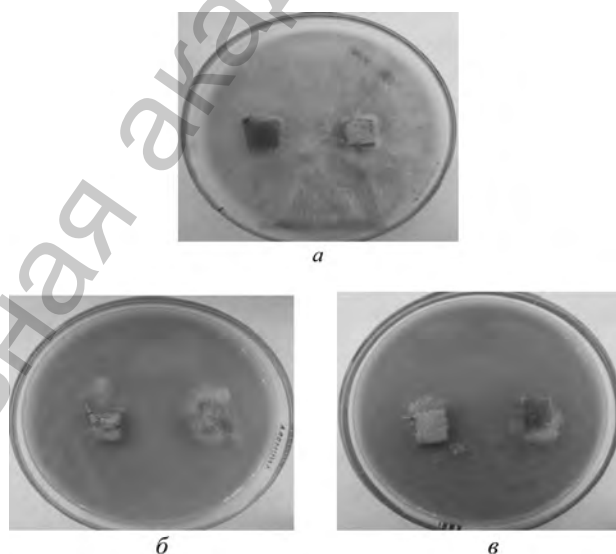


Рис. 5. Действие препарата из листьев *Taraxacum mongolicum* на рост мицелия *Fusarium culmorum*: а – контроль; б – 0,1 %-ный препарат по д. в.; в – 0,2 %-ный препарат по д. в.

На рис. 4, 5 и в табл. 5 представлены результаты исследований действия препарата из листьев одуванчика монгольского на снижение диаметра роста колоний фитопатогенов. Как видно из представленных данных, препарат обладает эффективным действием на рост и развитие фитопатогенов, снижая их на 77–90 %.

Т а б л и ц а 5. Действие препарата из листьев *Taraxacum mongolicum* на диаметр колоний фитопатогенов

Концентрация препарата, %	Фитопатогены			
	<i>Colletotrichum gloesporioides</i>		<i>Fusarium culmorum</i>	
	мм ²	% угнетения	мм ²	% угнетения
Контроль	2200,0	–	2400,0	–
0,1	500,0	77,3	237,5	90,1
0,2	320,0	85,4	185,0	92,3

Заключение. Проведенные исследования показали разнообразие уровня активности компонентов системы протеолиза (белков – ингибиторов протеиназ) среди дикорастущих видов семейства Asteraceae флоры Монголии и Беларуси, что позволило выявить наиболее перспективные виды растений. Результаты исследований позволили разработать способ получения препаратов, исследовать их физико-химические и биологические свойства.

Установлено, что наиболее перспективным видом растений флоры Монголии является одуванчик монгольский (*Taraxacum mongolicum*), а флоры Беларуси – эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*), из листьев которых получен гомогенный препарат, обладающий антикоагулянтным, кардиопротекторным, цитотоксическим и фунгицидным действием. Препараты могут быть использованы в медицине и сельском хозяйстве.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б13МН-003).

Литература

1. Batsuren D. Chemical structures of natural compounds isolated from Mongolian medicinal plants. Ulaanbaatar, 2006. – 258 с.
2. Антонов В. К. Химия протеолиза. М., 1991. – 504 с.
3. Домаши В. И., Шарпио Т. П., Забрейко С. А. // Весті НАН Беларусі. Сер. мед. навук. 2008. № 1. С. 58–63.
4. Мосолов В. В., Валуева Т. А. // Прикл. биохимия и микробиол. 2005. Т. 41, № 3. С. 261–282.
5. Иванов О. А. Белки-ингибиторы сериновых протеиназ отдельных представителей семейства сложноцветные (Asteraceae): активность и физико-химические свойства: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Минск, 2013. – 21 с.
6. Гофман Ю. Я., Вайсблай И. М. // Прикл. биохимия и микробиология. 1975. Т. 11, № 5. С. 777–783.
7. Tomarelli R. M. // J. Lab. Clin. Med. 1949. Vol. 34. P. 428–433.

8. Методы экспериментальной микологии / под ред. В. И. Билай. Киев: «Наукова думка», 1982. – 240 с.
9. Hartree E. F. // Anal. Biochem. 1972. Vol. 48, N 2. P. 422–427.
10. Bradford M. M. // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.
11. Laemmli U. K. // Nature. 1970. Vol. 227. P. 680–685.
12. Yun S., Cho H., Choi H. // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2002. Vol. 66, N 9. P. 1859–1864.
13. Домаш В. И., Иванов О. А., Даши Ц. З. и др. // Вестн. ФФИ. 2010. № 3. С. 99–107.
14. Красненкова Т. П., Иванов О. А., Домаш В. И. и др. // Тезисы докл. VII Всероссийской конф. «Протеолитические ферменты: структура, функции, эволюция». Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. 30 июня – 4 июля 2014 г. Петрозаводск, 2014. С. 133.
15. Красненкова Т. П., Иванов О. А., Домаш В. И., Батхуу Ж. Г. // Материалы 1 Междунар. науч. конф. «Лекарственные растения: фундаментальные и прикладные проблемы». 21–22 мая 2013 г. Новосибирск, 2013. С. 392–395.
16. Анисович М. В., Афонин В. Ю., Домаш В. И. и др. // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Беларусские лекарства». Минск, 27–28 нояб. 2014 г. Минск, 2014. С. 7–9.

V. I. DOMASH, D. T. N. BATSUREN, J. G. BATKHUU, O. A. IVANOV,
T. P. SHARPIO, S. A. ZABREIKO

**COMPONENTS OF PROTEINASE-INHIBITOR SYSTEM IN WILD SPECIES
OF ASTERATSEAE FAMILY FROM MONGOLIAN AND BELARUSIAN FLORA:
THE PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES**

Summary

Data about the diversity of activity of the proteinase inhibitors, one of the components of proteinase-inhibitor system, are given for wild species of Asteratseae family from Mongolian and Belarusian flora. From the leaves of perspective plants (*Taraxacum mongolicum*, *Echinaceae purpurea*) using chromatographic techniques were obtained preparations of proteinase inhibitors, identified their physico-chemical and biological (anticoagulant, cardioprotective, cytotoxic and fungistatic) properties. This opens up the possibility of using these drugs in medicine and agriculture.

УДК 541.182

Т. Ф. КУЗНЕЦОВА, А. И. ИВАНЕЦ

**СИНТЕЗ МЕЗОПОРИСТЫХ КСЕРОГЕЛЕЙ И МЕМБРАН
В УСЛОВИЯХ ЗОЛЬ–ГЕЛЬ-ПЕРЕХОДА
АЛКОКСИДНОЙ СМЕСИ ТИТАНА (IV) И КРЕМНИЯ (IV)***Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 13.03.2015)*

С использованием золь–гель-подхода и погружного метода покрытия кварцевого субстрата путем совместного гидролиза алкоксидов титана (IV) и кремния (IV) в кислой среде получены мезопористые титанокремниевооксидные мембраны, по своим адсорбционным свойствам отличающиеся от титанооксидных и кремнеземных мембран, а по распределению мезопор по размерам являющиеся поверхностными дубликатами объемного материала. Измерены изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота на образцах оксида титана (IV), кремнезема, титанокремниевооксидных ксерогелей и мембран, произведенных при различном молярном соотношении Ti/Si. Показано, что изотермы сорбции азота кремнеземом относятся к типу I и свидетельствуют об образовании микропор, оксидом титана (IV), сложными оксидами титана (IV) и кремния (IV) и мембранными композициями – к типу IV, характерному для мезопористых адсорбентов.

Введение. Сложные мезопористые ксерогели, получаемые из алкоксидов титана (IV) и кремния (IV), так же как титансодержащие мезопористые «молекулярные сита», подобные микропористому силикалиту титана (IV), являются эффективными гетерогенными катализаторами селективного жидкофазного окисления органических соединений [1; 2]. Их высокая активность и селективность обеспечиваются ярко выраженной мезопористостью материала и высокой дисперсностью оксида титана (IV) в кремнеземной матрице [3]. Существует несколько подходов к золь–гель-синтезу бинарных оксидов титана (IV) и кремния (IV). В одном из них алкоголь кремнезема пропитывают раствором предшественника оксида титана (IV) и получают механически прочный материал с осажженным на его поверхности анатазом [4]. Однако медленная диффузия предшественника TiO_2 в алкоголь, требующая длительной пропитки, приводит к его неоднородному осаждению. Второй возможный способ – совместный гидролиз прекурсоров TiO_2 и SiO_2 в основной среде [5]. Однако при этом скорости гидролиза и поликонденсации алкоксидов требуют дополнительного контроля, во-первых, путем предварительного гидролиза, а, во-вторых, путем комплексообразования и добавок полимеров [6].

Настоящая работа посвящена формированию мезопористой структуры титанокремниевооксидного ксерогеля путем совместного гидролиза алкоксидов титана (IV) и кремния (IV) в кислой среде, а ее конечная цель – получение титанокремниевооксидных мембран на макропористой кварцевой подложке погружным методом в условиях золь–гель-перехода алкоксидной смеси.

Экспериментальная часть. Синтез титанокремниевооксидного ксерогеля осуществляли золь–гель-методом при комнатной температуре, проводя кислотный гидролиз смеси алкоксидов титана (IV) и кремния (IV) в этаноле в присутствии темплата. Золь получали, добавляя рассчитанное количество этанола в смесь тетраэтилортосиликата, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, и изопропоксида титана (IV), $\text{Ti}(\text{iso-OC}_3\text{H}_7)_4$, приготовленную с молярным соотношением в диапазоне $0,8 : 0,2 \geq \text{Ti/Si} \geq 0,2 : 0,8$. Хлорид цетилпиридиния предварительно растворяли в воде с добавлением соляной кислоты и вводили в готовый золь. Переход золя в гель проходил в стандартных условиях в течение 1 сут, после чего продукт отделяли, сушили на воздухе и прокаливали 2 ч в воздушной атмосфере при 923 К для удаления темплата.

Синтез титанокремниевооксидных мезопористых мембран на макропористой кварцевой подложке осуществляли погружным методом путем ее прямого контакта с мембранообразующим раствором в условиях совместного гидролиза алкоксидов и золь–гель-перехода. Роль подложки, включающую предотвращение агломерации и спекания мембранного слоя и поддержание высокой площади контакта активного вещества и реагентов, выполнял макропористый трубчатый субстрат из спеченного кварцевого порошка с микрометровым размером частиц. Для его создания использовали шихту из порошка кристаллического оксида кремния (IV) с размерами частиц в диапазоне 100–315 мкм, алюмосиликатного связующего (≈ 5 масс. %), неионогенного поверхностно-активного вещества, пластификатора и органического порообразователя. Подложка после прессования имела форму небольшого полого цилиндра без дна высотой 15 мм, внутренним и внешним диаметрами 9 и 14 мм соответственно и толщиной стенок 2,5 мм.

Выбор подложки основывался на общеизвестных работах в области производства керамических мембран и на собственных результатах [7–9]. Обычно в качестве подложек применяют природные (глины, пемза, диатомит, асбест и др.) или синтетические материалы (активные угли, алюмосиликаты, оксиды алюминия, кремния, магния, циркония и др.) [7]. Масса подложки, как правило, гораздо больше массы нанесенного на нее активного слоя. Особенно предпочтительны определенные типы подложек из оксида кремния (IV) или α -оксида алюминия. Они имеют площадь поверхности по БЭТ, $A_{\text{БЭТ}} \approx 0,3\text{--}3 \text{ м}^2/\text{г}$, и объем пор $\approx 0,1 \text{ см}^3/\text{г}$. Подложка, используемая в настоящей работе, полностью удовлетворяла основным требованиям, предъявляемым к субстратам: достаточная площадь поверхности и макропористость, термическая стабильность, химическая инертность и высокая механическая прочность. Она содержала кварц с площадью поверхности $A_{\text{БЭТ}} = 0,5 \text{ м}^2/\text{г}$.

Мембранообразующим золем служила алкоксидная смесь титана (IV) и кремния (IV) в молярном соотношении $Ti/Si = 0,4 : 0,6$, произведенная заранее из смеси рассчитанных объемов тетраэтоксисилана и изопропоксида титана, а также этанола, воды, соляной кислоты и действующего в качестве темплата хлорида цетилпиридиния (5 масс. %). Последний вводили при небольшом нагревании до полного растворения в смеси. Переход золя в гель проводили в стандартных условиях. Через 18 ч кварцевые цилиндры извлекали из раствора, сушили на воздухе и обрабатывали в течение 2 ч в воздушной атмосфере при 923 К. При многократной пропитке использовали образцы, всякий раз предварительно высушиваемые на воздухе.

Адсорбционные и текстурные свойства образцов оценивали из изотерм низкотемпературной (77 К) физической адсорбции-десорбции азота, полученных объемным методом на анализаторе площади поверхности и пористости ASAP 2020 MP. Площадь поверхности пор в расчете на единицу массы твердого тела, или удельную поверхность, оценивали методами БЭТ (A_{BET}) и Ленгмюра (A_L), площадь поверхности микропор (A_{micro}) и площадь внешней поверхности (A_{ext}) – сравнительным методом t -графика, считая, что $A_{micro} = A_L - A_{ext}$. Десорбционную кумулятивную площадь $A_{ВН}$ поверхности пор диаметром в диапазоне от 1,7 до 300 нм, десорбционный кумулятивный объем $V_{ВН}$ пор в том же диапазоне диаметров, средний десорбционный диаметр пор $D_{ВН}$, распределение $dV / d\log D$ объема пор по размерам D определяли методом Барретта–Джойнер–Халенды (ВН). Объем ($W_{НК}$) пор рассчитывали методом Хорвата–Кавазоз (НК). Для описания реальной структуры распределения пор в многократно пропитанных образцах, имеющих поры в широком диапазоне значений, использовали модель DFT (теории функционала плотности). Перед анализом образцы вакуумировали в течение 1 ч при температуре 523 К. Относительная ошибка определения объема пор составляла ± 1 %, площади поверхности и размера пор ± 15 %.

Обычно состав, дисперсность и размещение компонентов в мембране оценивают методами рентгенофазового анализа (РФА), электронной микроскопии и ИК спектров. Однако величина поверхности мембранных композитов, образованных сочетанием фаз с четкими границами раздела между ними, наиболее надежно определяется лишь сорбционными методами. Так, традиционные методы измерения доступной поверхности, например, нанесенных металлических катализаторов, основаны на избирательной хемосорбции газов на поверхности металла при пренебрежимо малой адсорбции на поверхности носителя. Аддитивность величин адсорбции на поверхности фаз с разными адсорбционными свойствами позволяет распространить сравнительный метод на композиты, состоящие из двух фаз [10], с величиной суммарной удельной поверхности A_{Σ} (m^2/g композита). Изотерма адсорбции азота на этом композите в области до начала капиллярной конденсации описывается функцией $\alpha_{\Sigma}(P) = A_{\Sigma} \alpha_{\Sigma}(P)$, где $\alpha_{\Sigma}(P)$ – удельная величина адсорбции на единице суммарной поверхности при равновесном давлении P . Измеренные в тех же условиях изотермы адсорбции на фазах 1 и 2:

$\alpha_1(P) = A_1\alpha_1(P)$ и $\alpha_2(P) = A_2\alpha_2(P)$, где A_1 и A_2 – доступная поверхность фаз 1 и 2, отнесенная к массе композита, $\alpha_1(P)$ и $\alpha_2(P)$ – удельные величины сорбции азота, отнесенные к единице доступной поверхности фаз 1 и 2. Дополнительно можно ввести значения доступной поверхности фаз, A_1^0 и A_2^0 , отнесенные к массе этих фаз. При массовой доле χ фазы 1 в композите массовая доля фазы 2 в двухфазной системе равна $(1 - \chi)$, и следовательно, $A_1^0 = A_1 / \chi$ и $A_2^0 = A_2 / (1 - \chi)$. Тогда баланс для суммарной поверхности и суммарной адсорбции имеет вид

$$A_{\Sigma} = A_1 + A_2 = A_1^0\chi + A_1^0(1 - \chi), \quad (1)$$

$$\alpha_{\Sigma}(P) = A_1\alpha_1(P) + A_2\alpha_2(P) = A_1\alpha_1(P) + (A_{\Sigma} - A_1)\alpha_2(P). \quad (2)$$

Из (2) следует, что при $\alpha_1(P) > \alpha_2(P)$

$$A_1 / A_{\Sigma} = [\alpha_{\Sigma}(P) - \alpha_2(P)] / [\alpha_1(P) - \alpha_2(P)] \quad (3)$$

или при $\alpha_2(P) > \alpha_1(P)$

$$A_1 / A_{\Sigma} = [\alpha_2(P) - \alpha_{\Sigma}(P)] / [\alpha_2(P) - \alpha_1(P)].$$

Величина A_2 определяется как $A_2 = A_{\Sigma} - A_1$ или по уравнению типа (3) при наличии лишь некоторой специфичности адсорбции, обеспечивающей различия функций $\alpha_2(P)$ и $\alpha_1(P)$. Поэтому весьма целесообразно сравнительное исследование изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота на модифицированном алкоксидной смесью кварце, поскольку оно позволяет определить как модификация влияет на адсорбционный потенциал поверхности, на свойства и тип t -графиков.

В сравнительном методе t -графика использовали в качестве стандарта непористый оксид кремния (IV) ТК-800 II (фирмы Degussa) с удельной поверхностью по БЭТ $163 \text{ м}^2/\text{г}$. Зависимой переменной, откладываемой на оси ординат, являлась средняя статистическая толщина t адсорбционной пленки, определенная по уравнению Гаркинса–Юры:

$$t = (n / n_m)\sigma,$$

где n / n_m – число статистических монослоев в пленке; n_m – емкость монослоя в молях адсорбата; σ – толщина одного слоя, равная для азота при 77 К $0,354 \text{ нм}$ (в предположении плотнейшей гексагональной упаковки молекул в адсорбционной пленке). Анализируемую изотерму перестраивали в t -график в виде функции $n = f(t)$. Замена P / P_0 на t позволяла проводить сравнение изотермы и стандартной t -кривой. Уравнение t -метода для полимолекулярной адсорбции имеет вид

$$a(P / P_0) = A_a\alpha(P / P_0) \pm b,$$

где A_a – поверхность мезопор; $\alpha(P / P_0)$ – адсорбция на единице поверхности по стандартной изотерме, a и b – отрезок, отсекаемый на ординате линейной частью t -графика при экстраполяции.

ИК фурье-спектры регистрировали на инфракрасном спектрометре MIDAC Corporation M Series2000 в области $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ при разрешении 4 см^{-1} . Навеску образца прессовали с предварительно прокаленным KBr при соотношении образец / KBr = 3 / 800.

Рентгеноаморфный или кристаллический характер титанокремниевооксидного композита подтверждали измерениями дифракции рентгеновских лучей на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 с $\text{CuK}\alpha$ -излучением в области брэгговских углов $2\Theta = 5\text{--}60^\circ$.

Результаты и их обсуждение. Изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота на ксерогелях оксида титана (IV) и титанокремниевооксидного композита относятся к типу IV с гистерезисом H3, присущим щелевидным мезопорам (рис. 1–3). Если темплат не используется, изотерма типа IV сорбции азота оксидом титана (IV) имеет необратимую капиллярную конденсацию при очень высоких относительных давлениях, т. е. при $P / P_0 > 0,90$, указывающую на наличие мезопор диаметром $D > 8\text{ нм}$ с преобладающим размером $\approx 30\text{ нм}$ (рис. 1). В результате темплатирования на изотермах проявляется вторая особенность – протяженный гистерезис в области мезопор $D > 8\text{ нм}$, связанный с наличием очень узких мезопор. Это подтверждается бимодальным характером ВН-распределения мезопор образцов на рис. 1 с явным смещением левой части кривых в сторону микропор. С ростом количества оксида титана (IV) в титанокремниевооксидном композите увеличивается доля мезопор с диаметром $D > 8\text{ нм}$,

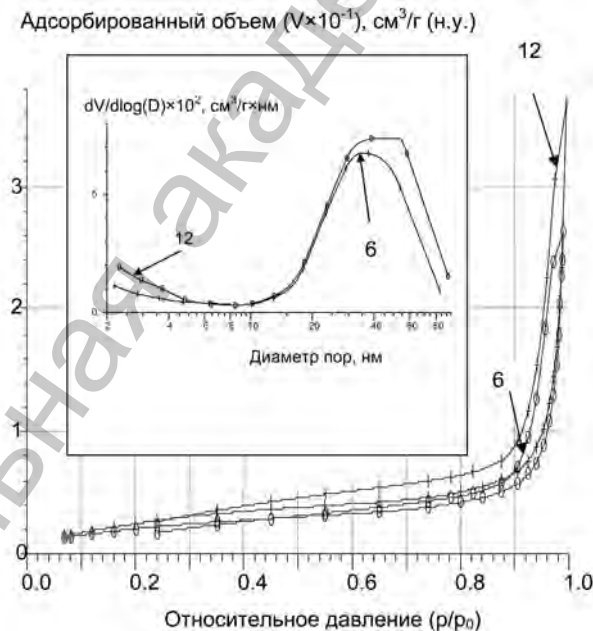


Рис. 1. Изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота и ВН-распределение объема мезопор титанооксидного ксерогеля, полученного с темплатом (12) и без него (6)

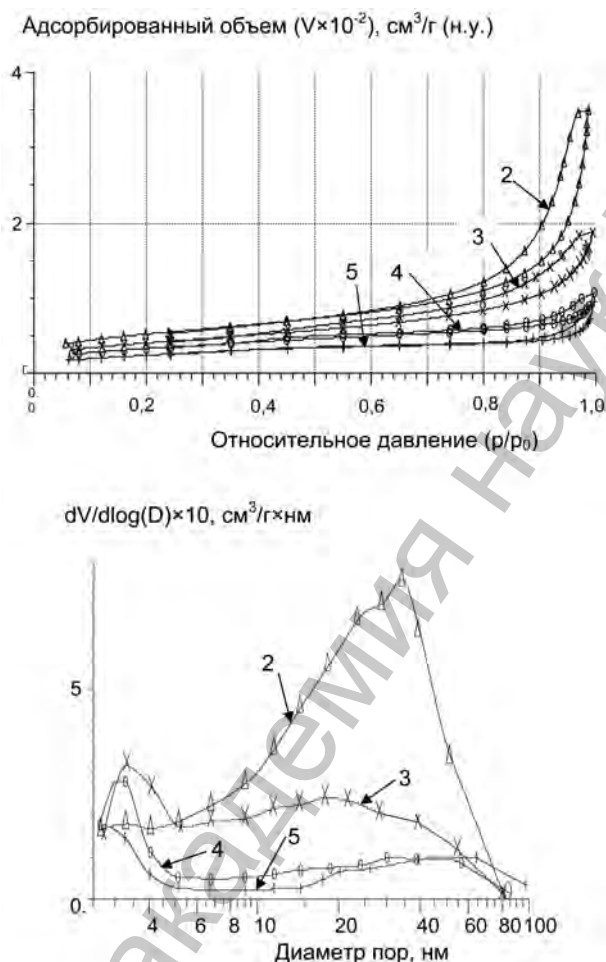


Рис. 2. Изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота и ВН-распределение объема мезопор титанокремниевооксидного ксерогеля, полученного без темплата при молярном соотношении Ti/Si, равном 0,2 : 0,8 (2), 0,4 : 0,6 (3), 0,6 : 0,4 (4), 0,8 : 0,2 (5)

и на распределении мезопор обнаруживается четкий пик с преобладающим размером ≈ 3 нм. При низких молярных соотношениях $0,4 : 0,6 \geq \text{Ti/Si} \geq 0,2 : 0,8$ (образцы 2 и 8), этот пик уменьшается, и появляется очень размытый пик в широком интервале значений $D \approx 5-80$ нм. Возможно, с ростом количества кремнезема частицы упаковываются менее равномерно, приводя к формированию мезопористых композитов с высокими значениями удельной поверхности $189-293 \text{ м}^2/\text{г}$ и объема пор $0,542-0,582 \text{ см}^3/\text{г}$ (табл. 1).

На фурье-спектрометре в ИК спектрах титанокремниевооксидных ксерогелей после термической обработки не обнаружено заметных изменений химии поверхности. В спектрах отсутствуют интенсивные полосы в области $3000-2880$

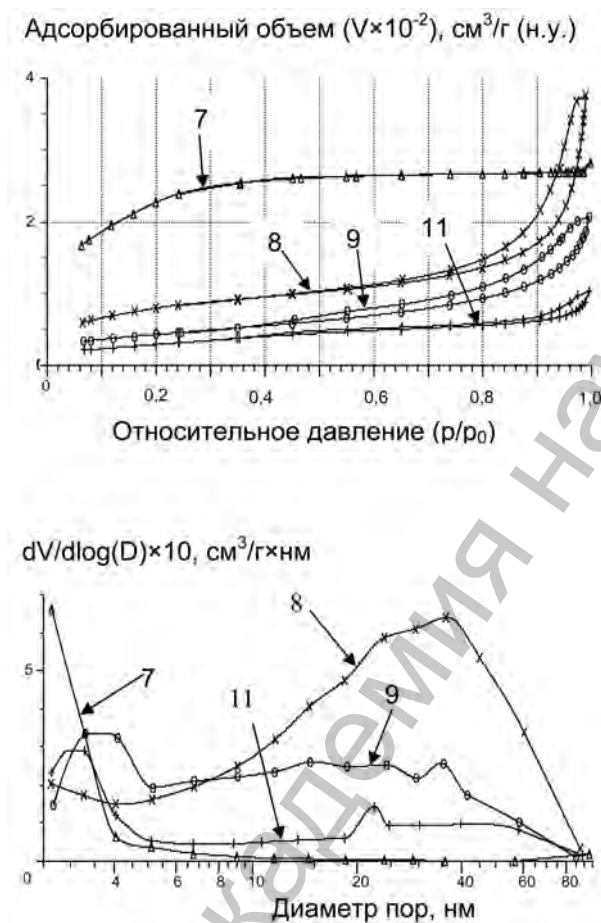


Рис. 3. Изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота и ВЖН-распределение объема мезопор кремнезема (7) и титанокремневооксидного ксерогеля, полученных с темплатом при молярном соотношении Ti/Si, равном 0,2 : 0,8 (8), 0,4 : 0,6 (9), 0,8 : 0,2 (11)

и $1470\text{--}1380\text{ см}^{-1}$, соответствующие валентным и деформационным колебаниям алкильных групп катиона цетилпиридиния. Интенсивность пиков при $3750, 3670, 3548, 3460, 3413\text{ см}^{-1}$, относящихся к изолированным, геминальным, вицинальным и терминальным силанольным группам, а также к связанной с ними водородной связью молекулярной воде, незначительно уменьшается с ростом температуры и времени прокаливания. Небольшой пик при 2390 см^{-1} является артефактом и отвечает атмосферному оксиду углерода (IV). Пики при $1619\text{--}1637\text{ см}^{-1}$ принадлежат молекулярной воде. Очень слабый пик при 1375 см^{-1} относится к колебаниям δ связи C–H. Полосы поглощения, локализованные при характеристических частотах около $1250, 1050, 800, 460\text{ см}^{-1}$, относятся к колебаниям связи Si–O–Si

Т а б л и ц а 1. Адсорбционные свойства ксерогелей, полученных гидролизом ТЭОС и изопропоксида титана, после прокаливании при 923 К

Образец	Ti/Si, моль/моль	ЦПХ, масс.%	$A_{\text{ВЕТ}}$, м ² /г	A_L , м ² /г	$A_{\text{микро}}$, м ² /г	A_{ext} , м ² /г	$A_{\text{ВН}}$, м ² /г	$W_{\text{НК}}$, см ³ /г	$V_{\text{ВН}}$, см ³ /г	$D_{\text{ВН}}$, нм
1	0 : 1,0	нет	128	171	120	51	9	0,066	0,012	5
2	0,2 : 0,8	нет	189	261	79	182	142	0,542	0,526	15
3	0,4 : 0,6	нет	146	204	63	141	108	0,290	0,276	10
4	0,6 : 0,4	нет	119	167	49	118	71	0,165	0,144	8
5	0,8 : 0,2	нет	89	126	24	102	51	0,148	0,132	10
6	1,0 : 0	нет	8	12	1	11	6	0,041	0,040	26
7	0 : 1,0	5	840	1181	339	842	137	0,437	0,128	4
8	0,2 : 0,8	5	293	410	116	294	142	0,582	0,520	15
9	0,4 : 0,6	5	157	219	66	153	121	0,320	0,307	10
10	0,6 : 0,4	5	90	125	33	92	64	0,143	0,132	8
11	0,8 : 0,2	5	109	157	26	131	85	0,159	0,149	7
12	1,0 : 0	5	10	16	1	15	8	0,057	0,056	29

в кремнеземной сетке [11; 12]. Адсорбционным пиком около 945 см^{-1} характеризуются мостики Si–O–Ti [13–16]. Этот пик можно отнести и к связи Si–OH [11; 16], поскольку полоса поглощения при 945 см^{-1} наблюдается в ксерогелях SiO₂, полученных в кислой среде. Однако обычно она исчезает после прокаливании при 773 К [16]. Скорее всего, полоса с максимумом в области $939\text{--}947 \text{ см}^{-1}$ может быть причислена к антисимметричным колебаниям, $\nu_{\text{ас}}$, связи Si–O–Ti [17; 18], а диффузная полоса (или плечо) в области $580\text{--}675 \text{ см}^{-1}$, не характерная для ИК спектров SiO₂ – к колебаниям связи либо Si–O–Ti [18], либо Ti–OR [19], либо Ti–O–Ti [20]. Фактически эти пики могут перекрываться.

Рентгеновские дифрактограммы образцов 2–4, 8–10 с молярным соотношением $0,6 : 0,4 \geq \text{Ti/Si} \geq 0,2 : 0,8$ указывают на их слабокристаллизованный характер с наличием основного рефлекса, присущего анатазу ($d > 0,35200 \text{ нм}$), согласно картотеке ASTM (карточка [21-1272]). При значении Ti/Si = 0,8 : 0,2 на дифрактограммах образцов 5 и 11 имеется уже несколько брэгговских рефлексов, соответствующих анатазу ($d > 0,35200, 0,23780, 0,18920, 0,16999, 0,16665 \text{ нм}$). Образцы 6, 12 оксида титана (IV) обнаруживают четкие пики, характерные для двух фаз – анатаза и рутила ($d > 0,32480, 0,24869, 0,22966, 0,21870, 0,20542, 0,16872, 0,16240 \text{ нм}$), по картотеке ASTM (карточка [65-191]), с преобладанием последнего. Анализ дифрактограмм образцов в области малых брэгговских углов $2\Theta = 5\text{--}20^\circ$ ни в одном случае не выявил какой-либо кристаллизации.

Из рис. 2, 3 и табл. 1 видно, как введение оксида титана (IV) в кремнеземный гель перестраивает его пористую структуру. Изотермы адсорбции-десорбции азота кремнеземом, полученным в кислой среде при наличии темплата или без него, относятся к типу I, характерному для микропористых адсорбентов, не имеют гистерезиса и свидетельствуют об образовании микропор размером $< 2 \text{ нм}$

(рис. 3). Эффект темплата проявляется в резком увеличении удельной поверхности и объема пор кремнезема. При введении TiO_2 изотермы сорбции азота кремнеземом трансформируются в изотермы типа IV (рис. 2, 3). Мезопористость образцов подтверждается и табличными данными. Доля кумулятивной площади поверхности мезопор по сравнению с внешней поверхностью, $A_{ВН} / A_{ВЕТ}$, с ростом содержания Ti возрастает от 7 до 91 %, а доля кумулятивного объема мезопор в общем объеме пор, $V_{ВН} / W_{НК}$ – от 18 до 98 % (табл. 1). Из рис. 2, 3 следует, что при молярном соотношении $0,8 : 0,2 \geq Ti/Si \geq 0,4 : 0,6$ и в присутствии хлорида цетилпиридиния формируется текстура титанокремниевооксидных композитов с бимодальной мезопористостью и четко выраженным преобладающим диаметром мелких мезопор ≈ 3 нм.

В упрощенном виде реакции гидролиза (4) и химической конденсации (5), (6) алкоксидов кремния (IV) и титана (IV), приводящие соответственно к образованию низкомолекулярных фрагментов (НМФ) и их связыванию, описываются схемами



где M – атом металла или неметалла; R – алкильная группа (C_xH_{2x+1}).

Помимо образования поперечных связей $-M-OH-M-$ или $-M-O-M-$, в реакциях конденсации образуются спирт и вода. При комнатной температуре кислота ускоряет гидролиз, но замедляет поликонденсацию. Поэтому в кислой среде уже на начальной стадии взаимодействия происходит пересыщение раствора по низкомолекулярным фрагментам, способствующее формированию высокодисперсных гелей оксидов титана (IV) и кремния (IV). Обратные реакции (5) и (6), т. е. алкоголиз или гидролиз связей $-M-O-M-$, приводят к их разрушению или к полной деструктуризации растущего полимера. Срастание частиц из-за высокой скорости гидролиза в кислой среде проявляется слабо и гель, как правило, легко уплотняется в процессе сушки [10].

Координационные числа Ti и Si ≥ 4 , поэтому полная конденсация способствует образованию плотных осадков корпускулярных оксидов [21; 22]. По Эванс [22], в силикатной матрице ионы Ti^{4+} находятся не в октаэдрической, а в кинетически стабильной тетраэдрической координации. Для электроположительного титана трудно понизить скорости гидролиза и химической конденсации и избежать формирования частиц [21]. Кремний, напротив, значительно менее электроположителен, чем титан. Гидролиз и поликонденсация алкоксида кремния проходят медленнее, и на протекание процесса конденсации легко воздействовать стерическими и химическими факторами, такими как размер алкоксидного лиганда, концентрация кислотного катализатора, время старения и т. д. [21; 23; 24].

Действительно, если гель TiO_2 в отсутствие темплата имеет удельную поверхность $A_{\text{BET}} = 8 \text{ м}^2/\text{г}$ и объем пор $W_{\text{HK}} = 0,041 \text{ см}^3/\text{г}$ и при темплатном синтезе практически те же значения $A_{\text{BET}} = 10 \text{ м}^2/\text{г}$ и $W_{\text{HK}} = 0,057 \text{ см}^3/\text{г}$, то у «чистого» кремнезема $A_{\text{BET}} = 128 \text{ м}^2/\text{г}$ и $W_{\text{HK}} = 0,066 \text{ см}^3/\text{г}$, а при темплатировании существенно выросшие характеристики $A_{\text{BET}} = 840 \text{ м}^2/\text{г}$ и $W_{\text{HK}} = 0,437 \text{ см}^3/\text{г}$ соответственно. При таких удельной поверхности и объеме пор частицы SiO_2 имеют диаметр $\approx 3 \text{ нм}$, а диаметр пор $\approx 2 \text{ нм}$. Коэффициент коалесценции для мелких частиц SiO_2 возрастает, сетка геля становится жесткой для сжатия, а получаемый кремнезем – механически прочнее и устойчивее по отношению к усадке. Если темплат отсутствует и снижения поверхностной энергии не происходит, то в порах SiO_2 указанного диаметра при высушивании возникают огромные капиллярные силы, сжимающие поры при плотной произвольной упаковке частиц. В таких случаях введение титана (IV), соответствующее $\text{Ti/Si} = 0,2 : 0,8$, приводит к развитию удельной поверхности и объема пор от $128 \text{ м}^2/\text{г}$ и $0,066 \text{ см}^3/\text{г}$ до максимальных значений $A_{\text{BET}} = 181 \text{ м}^2/\text{г}$ и $W_{\text{HK}} = 0,542 \text{ см}^3/\text{г}$. При темплатировании композита с тем же соотношением Ti/Si значение A_{BET} вырастает от 181 до $277 \text{ м}^2/\text{г}$, а значение W_{HK} – от $0,542$ до $0,582 \text{ см}^3/\text{г}$. Далее с ростом содержания титана при $\text{Ti/Si} \geq 0,4 : 0,6$, уменьшаются и удельная поверхность, и объем пор композита независимо от того, был в системе темплат или нет, а на распределении пор по размерам формируется четкий максимум $D \approx 3 \text{ нм}$. Возможны два взаимосвязанных и взаимообусловленных объяснения влияния молярного соотношения Ti/Si на формирование текстуры композита. Первое – формирование пористого пространства определяется высокой коалесценцией частиц TiO_2 и вхождением аморфных частиц SiO_2 меньшего размера в узкие промежутки между большими частицами TiO_2 , а также блокировкой пор и снижением их доступности для молекул азота. Второе – легкость перемещения и перестраивания частиц SiO_2 в более плотную структуру при высушивании обеспечивается слабыми взаимодействиями между частицами.

Сравнение значений A_{micro} и A_L показывает, что с ростом молярного соотношения Ti/Si от $0,2 : 0,8$ до $0,8 : 0,2$ баланс между данными величинами изменяется незначительно, понижаясь с 30 до 20 % (табл. 1). Предположительно, аналогично изменяется и баланс между микро- и мезопористыми частями текстуры сложного оксидного ксерогеля. Это означает, что в его мезопористом пространстве присутствуют низкомолекулярные фрагменты предшественников оксидов, отвечающие за создание микрогелевых участков. У оксида титана (IV) «микромезопористый» баланс равен лишь 6–8 %, что свидетельствует о незначительном количестве титанооксидных НМФ в растворе и об отсутствии срастания частиц в кислой среде при высокой скорости гидролиза. У кремнезема баланс составляет около 70 % в отсутствие темплата и 30 % при темплатировании. Для него характерно большое количество НМФ в растворе, способствующее, во-первых, их связыванию в частицы по механизму гомогенного зародышеобразования с про-

должением химической конденсации в объеме частиц, и, во-вторых, прочному закреплению флуктуационно образующихся контактов частиц SiO_2 [10].

На рис. 4 в координатах сравнительного t -графика представлены изотермы адсорбции азота при 77 К мембранным композитом в зависимости от числа пропиток матрицы алкоксидной смесью с молярным соотношением $\text{Ti/Si} = 0,4 : 0,6$. Все сравнительные графики в области полимолекулярной адсорбции соответствуют ситуации полного отсутствия микропор и частичного заполнения поверхности матрицы модифицирующей алкоксидной смесью (рис. 4). Наклон t -графиков различен, константа C возрастает от 10 для образца 1, до 19 для образца 2, далее до 59 для образца 3, до 66 для образца 4 и, наконец, до 76 для образца 5, приближаясь к стандартному значению $C \approx 100$ для азота. Таким образом, с ростом числа пропиток до 10 константа C возрастает в 7,6 раз.

Для полученных t -графиков значение $b < 0$, в этом случае $A_{\text{ВЕТ}} > A_\alpha$ (возможны случаи, когда $A_{\text{ВЕТ}} = A_\alpha - V_\mu \alpha_m$, где V_μ – величина адсорбции в объеме заполненных микропор, α_m – величина адсорбции, соответствующая образованию монослоя на поверхности мезопор), а $C < C_0$. Ситуация, когда $b < 0$, $C < C_0$, а $A_{\text{ВЕТ}} = A_\alpha - b / \alpha_m$, характерна для пониженного адсорбционного потенциала поверхности или заполнения части ее центров модификатором. Видно, как с ростом числа пропиток адсорбционный потенциал поверхности возрастает (рис. 4). Вероятней всего, с ростом числа пропиток растет степень заполнения поверхности $\theta \rightarrow 1$, возрастает средняя толщина мембраны на поверхности субстрата, сначала преимущественно осаждаемой на вогнутых участках поверхности с постепенным их заполнением при $\theta \rightarrow 1$. Кварцевая подложка оказывает влияние на формирование пористой структуры мембран, предотвращая сжатие осажденного мембранного слоя на стадии сушки. Увеличение площади контакта и адгезии мембраны и подложки способствует повышению объема мезопор и возрастанию площади поверхности мембран (табл. 2 и 3).

Адсорбированный объем, $\text{см}^3/\text{г}$ (н.у.)

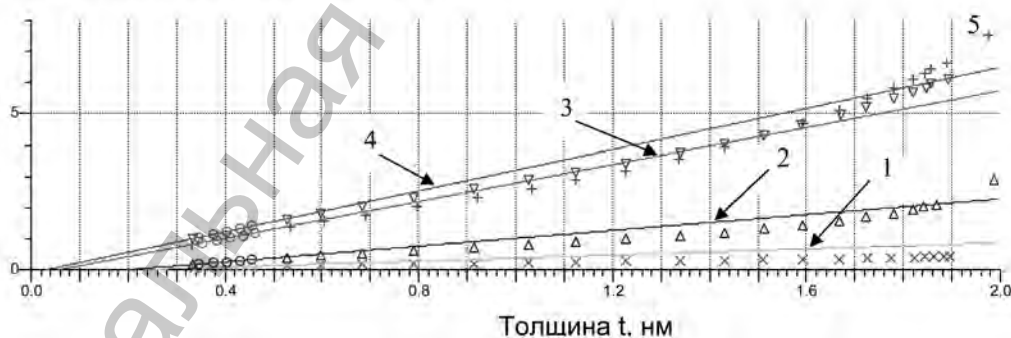


Рис. 4. Сравнительные t -графики адсорбции азота при 77 К мембранным композитом в зависимости от числа пропиток матрицы алкоксидной смесью с молярным соотношением $\text{Ti/Si} = 0,4 : 0,6$. 1 – исходный образец, 2 – пропитанный 1 раз, 3 – 3 раза, 4 – 5 раз, 5 – 10 раз

Т а б л и ц а 2. Изменение площади поверхности мембранного композита в зависимости от числа пропиток матрицы алкоксидной смесью с молярным соотношением Ti/Si = 0,4 : 0,6

Образец	Число пропиток	A_{sp} , м ² /г	$A_{вет}$, м ² /г	A_L , м ² /г	A_{micro} , м ² /г	A_{ext} , м ² /г	$A_{ВНads}$, м ² /г	$A_{ВНdes}$, м ² /г
1	Нет	0,3	0,5	0,8	Нет	0,8	0,3	0,5
2	1	7,1	8,5	14,1	0,7	13,4	9,2	10,6
3	3	10,9	11,8	16,4	3,4	13,2	10,6	13,5
4	5	12,5	13,3	18,5	4,9	13,6	10,3	14,1
5	10	18,2	19,3	27,1	7,8	19,3	14,5	20,1

Т а б л и ц а 3. Изменение диаметра мезопор мембранного композита в зависимости от числа пропиток матрицы алкоксидной смесью с молярным соотношением Ti/Si = 0,4 : 0,6

Образец	Число пропиток	$D_{sp ads}$, нм	$D_{sp des}$, нм	$D_{ВНads}$, нм	$D_{ВНdes}$, нм
1	Нет	5,4	4,9	8,1	5,8
2	1	10,3	11,4	14,2	11,8
3	3	9,5	10,4	12,6	10,2
4	5	7,4	7,5	9,4	7,5
5	10	7,7	8,0	10,5	8,0

На рис. 5 приведены линейные изотермы и рассчитанные из них кривые ВН-распределения пор по размерам, доказывающие бимодальность мезопор мембранных композитов, полученных трех-, пяти- и десятикратной пропиткой (кривые 3–5) кварца смесью алкоксидов четырехвалентных титана и кремния с молярным соотношением Ti/Si = 0,4 : 0,6. Первые максимумы на кривых соответствуют диапазону 3,5–4,0 нм, вторые – 25–30 нм. Примечательно, что объем мезопор диаметром 3,5–4,0 увеличивается с ростом числа пропиток.

Из данных табл. 2, 3 следует, что основная величина поверхности определяется характеристиками пористого пространства мембранного слоя на подложке, значения адсорбции на которой пренебрежимо малы. С ростом числа пропиток наблюдается одновременный рост и площади поверхности, и объема пор. При наличии бимодального ВН-распределения мезопор по размерам данное обстоятельство свидетельствует о том, что пористое пространство мембранного слоя построено из агрегатов частиц, имеющих по меньшей мере два разных лабиринта пор. Размеры частиц и агрегатов отличаются на десятичный порядок, и экспериментально измеряемое ВН-распределение пор имеет два максимума (рис. 5). Что касается изменения значений средних диаметров мезопор, то, как видно из данных табл. 3, его трудно прогнозировать, поскольку размеры пор определяются соотношением объема пор и площади поверхности композита, изменяемых сложным образом.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии EDX с помощью RONTEC EDWIN WinTools установлено, что концентрация титанового компонента на поверхности мембраны зависит от числа пропиток подложки алкок-

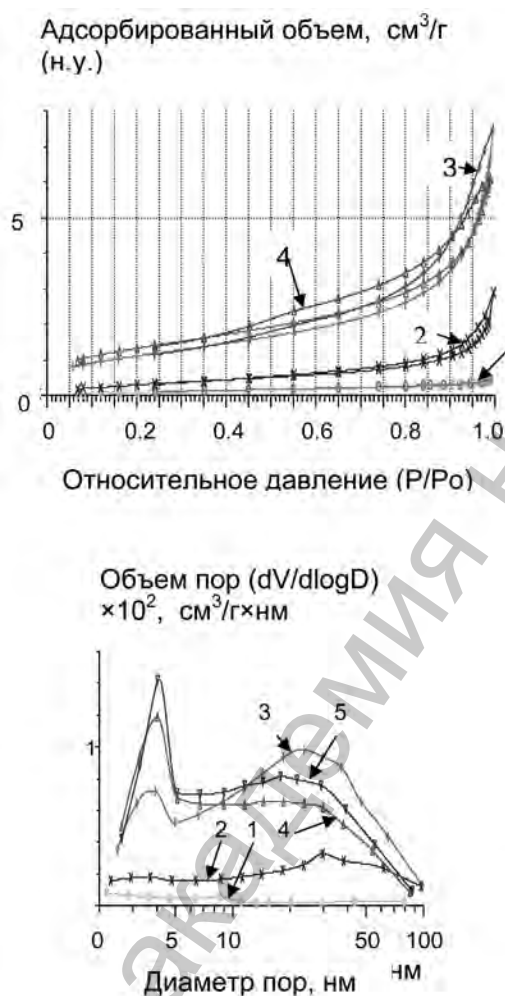


Рис. 5. Изменение изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота и ВПН-распределения объема мезопор мембранного материала в зависимости от числа пропиток матрицы алкоксидной смеси с молярным соотношением Ti/Si = 0,4 : 0,6. 1 – исходный образец, 2 – пропитанный 1 раз, 3 – 3 раза, 4 – 5 раз, 5 – 10 раз

сидной смеси с молярным соотношением Ti/Si = 0,4 : 0,6 и составляет при одной пропитке 14,18, при трех – 34,81, при пяти – 36,83 и при десяти – 26,95 % соответственно (рис. 6). Расчеты методом БЭТ с учетом уравнения (1) и данных EDX доказывают значительное увеличение удельной поверхности мембранного композита при его многократной пропитке, так, при десятикратной – почти в 40 раз, от 0,5 до 19,3 м²/г (табл. 2). Кривые распределения пор титанокремниевооксидных мембран методом DFT обнаруживают полимодальность мезопористой текстуры (рис. 7). В зависимости от числа пропиток алкоксидной смесью композитные

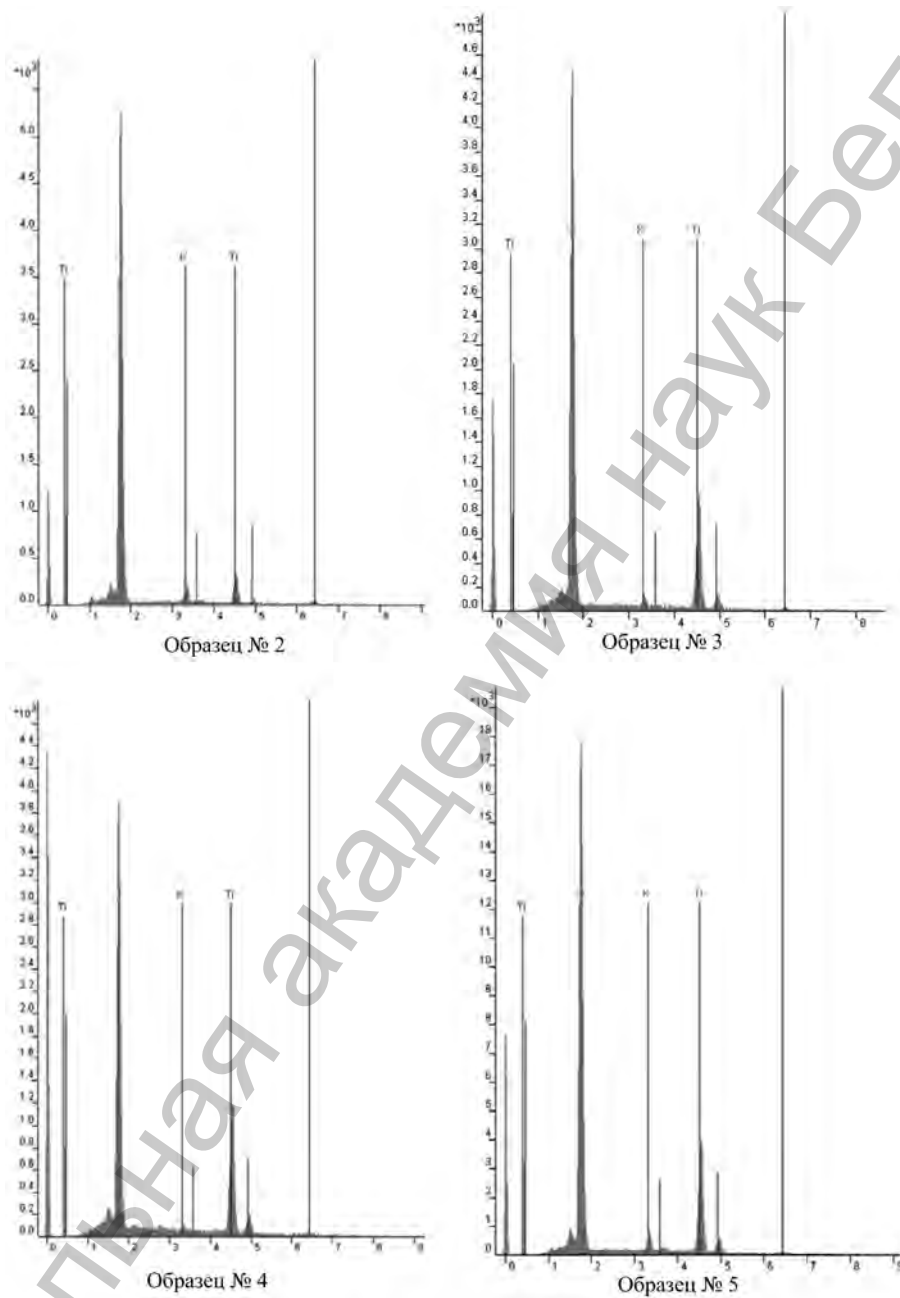


Рис. 6. Спектральный EDX-анализ титанокремневооксидных мембранных материалов, произведенных путем одно-, трех-, пяти- и десятикратной пропитки подложки алкоксидной смесью титана (IV) и Si (IV) (образцы 2, 3, 4, 5 соответственно)

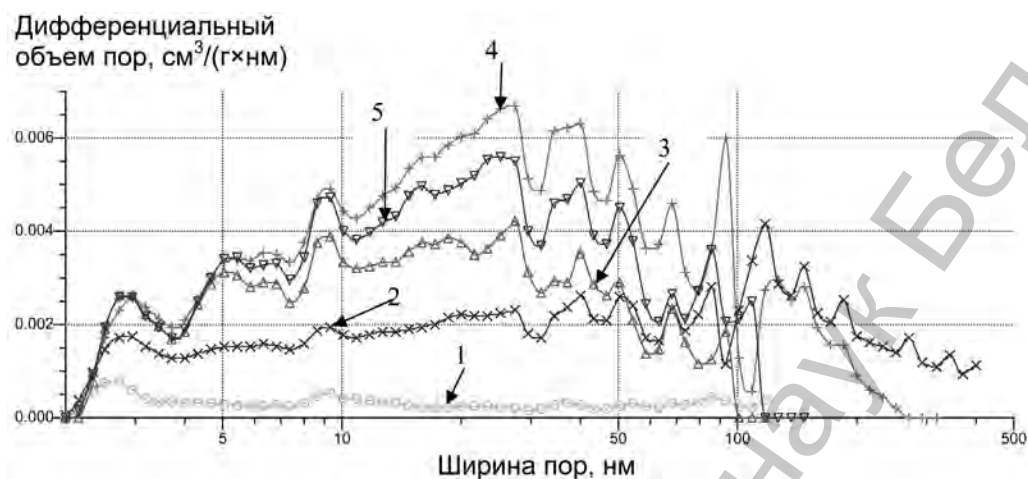


Рис. 7. DFT-распределение объема пор мембранного материала по диаметрам в зависимости от числа пропиток матрицы алкоксидной смесью Ti/Si = 0,4 : 0,6: 1 – исходный образец, 2 – пропитанный 1 раз, 3 – 3 раза, 4 – 5 раз, 5 – 10 раз

мембранные материалы демонстрируют различные по интенсивности пики на кривых распределения пор, что важно при решении проблем катализа и адсорбции. Результаты показывают хорошую стыковку ВЖН- и DFT-распределений в узкой мезопористой области.

Таким образом, характер пористого пространства сложных оксидов титана (IV) и кремния (IV) можно изменять путем совместного кислотного гидролиза их алкоксидов в кислой среде при различном соотношении Ti/Si. Своеобразная стабилизация частиц оксида титана (IV) микрогелевыми прослойками аморфного кремнезема способствует созданию тонкой мезопористой текстуры и развитой удельной поверхности образцов. При формировании бимодальной текстуры в мезопористой области это делает сложные титанокремниевые оксиды перспективными в качестве катализаторов фотокаталитического окисления органических примесей или в качестве носителей для гетерогенных катализаторов, в том числе для защиты окружающей среды от оксидов азота и углерода, а также как материалов для преобразования солнечной энергии в электрическую. Мембранные композиты с такой организацией структуры, помимо бифункциональности поверхностных свойств, интересны тем, что наличие связанной системы крупных мезопор в них существенно снижает диффузионное сопротивление в массообменных процессах. Поры между пористыми агрегатами частиц играют роль транспортных пор с низким диффузионным сопротивлением, а основная величина удельной поверхности и активности определяется характеристиками пористого пространства в объеме агрегатов.

Особенности синтеза титанокремниевооксидных мембран сказываются на характеристиках конечного композитного материала. Вероятнее всего, эти особенности обусловлены различным соотношением между скоростью реакции гидролиза, приводящей к образованию НМФ гидроксидов титана (IV) и кремния (IV), и скоростью реакции поликонденсации, приводящей к их связыванию в поверхностном слое. Гидролиз и поликонденсация происходят по механизму нуклеофильного замещения, где активность используемого алкоксида зависит от координационного числа и парциального положительного заряда атомов кремния и титана. То обстоятельство, что тетраэтилортосиликат с его малым положительным зарядом на атоме кремния (IV) является значительно менее активным по сравнению с алкоксидом титана (IV), позволяет направленно регулировать свойства конечного продукта. Процессы в поверхностном слое, происходящие при старении, синерезисе и сушке мембран, связаны с соотношением между скоростью гидролиза и поликонденсации. Поскольку в кислой среде скорость химической конденсации не достаточна для полного связывания НМФ, их поликонденсация в частицы происходит по механизму гомогенного зародышеобразования, в объеме которых она и продолжается [10]. Это приводит к образованию высокодисперсного рыхлого геля, который легко уплотняется под действием капиллярных сил при сушке. Механизм срастания контактов проявляется не слишком сильно, так как основная масса НМФ из-за высокой скорости гидролиза выделяется в начале процесса. Несомненно, что помимо заряда атомов металла в алкоксидах, концентрации и вида темплата, критическими факторами являются молярное соотношение компонентов Ti/Si и число пропиток подложки алкоксидной смесью четырехвалентных титана и кремния.

Заключение. Показано, что гидролиз и поликонденсация тетраэтилортосиликата и изопропоксида титана (IV) или их смеси в кислой среде при различном соотношении Ti/Si приводят к получению, с одной стороны, микропористого ксерогеля оксида кремния (IV), а с другой – мезопористых оксидов титана (IV) и сложных оксидов титана (IV) и кремния (IV). Обнаружено, что изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота кремнеземом, произведенным в таких условиях, относятся к I типу, не имеют гистерезиса и свидетельствуют об образовании микропор, а оксидом титана (IV) – к типу IV с бимодальным распределением мезопор. Установлено, что из смеси алкоксидов титана (IV) и кремния (IV) при молярном соотношении $0,8 : 0,2 \geq \text{Ti/Si} \geq 0,4 : 0,6$ и в присутствии хлорида цетилпиридиния формируется текстура сложных оксидов титана (IV) и кремния (IV) с бимодальной мезопористостью и четко выраженным преобладающим диаметром более мелких мезопор ≈ 3 нм, удельной поверхностью 90–157 м²/г и объемом пор 0,143–0,320 см³/г. С ростом количества кремнезема, при низких молярных соотношениях $0,4 : 0,6 \geq \text{Ti/Si} \geq 0,2 : 0,8$, частицы упаковываются менее равномерно, приводя к формированию мезопористых сложных оксидов с более высокими значениями удельной поверхности 189–293 м²/г,

объема пор $0,542\text{--}0,582\text{ см}^3/\text{г}$ и широким разбросом диаметров мезопор в диапазоне $5\text{--}80\text{ нм}$. Бимодальная текстура в мезопористой области выявлена также у мембранных титанокремниевооксидных материалов при трех-, пяти- и десятикратной пропитке кварца алкоксидной смесью титана (IV) и кремния (IV). Основные моды на кривых распределения мезопор по размерам соответствуют двум диапазонам диаметров, $3,5\text{--}4,0$ и $25\text{--}30\text{ нм}$, различающимся на десятичный порядок. При этом объем мелких мезопор заметно увеличивается с числом пропиток. Титанокремниевооксидные мембраны, полученные многократной пропиткой кварцевой подложки, по своим адсорбционным свойствам отличаются от кремнеземных и титанооксидных мембран, а по ВЖ-зависимости мезопор от равновесного давления являются поверхностными дубликатами объемного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант X13K-060).

Литература

1. Tanev P. T., Chibwe M., Pinnavaia T. J. // *Letters to Nature*. 1994. Vol. 368. P. 321–323.
2. Flanigan E. M., Bennett J. M., Grose R. W. et al. // *Nature*. 1978. Vol. 271. P. 512–516.
3. Sinko K. // *Materials*. 2010. Vol. 3. P. 704–740.
4. Yoda S., Tasaka Y., Uchida K. et al. // *J. Non-Cryst. Solids*. 2001. Vol. 285. P. 8–12.
5. Yao N., Cao S., Yeung K. L. et al. // *Micropor. Mesopor. Mater.* 2009. Vol. 117. P. 570–579.
6. Cao S., Yao N., Yeung K. L. // *J. Sol-Gel. Sci. Technol.* 2008. Vol. 46. P. 323–333.
7. Крылов О. В. Гетерогенный катализ. М.: Академкнига, 2004. – 679 с.
8. Кузнецова Т. Ф., Еременко С. И. // *Неорганические материалы*. 2013. Т. 49, № 2. С. 151–157.
9. Ivanets A. I., Kuznetsova T. F., Prozorovich V. G. // *Russian J. of Applied Chemistry*. 2013. Vol. 86, № 6. P. 893–898.
10. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. 2-е изд., испр. и доп. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 442 с.
11. Brinker C. J., Scherer G. W. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego: Academic Press Inc., 1990. P. 56.
12. Hirata T. // *J. Phys. Chem. Solids*. 1997. Vol. 58. P. 1497–1501.
13. Pirson A., Mohsine A., Marchot P. et al. // *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 1995. Vol. 4. P. 179.
14. Lafond V., Mutin P. H., Vioux A. // *J. Mol. Catal. A*. 2002. Vol. 182–183. P. 81–88.
15. Vives S., Meunier C. // *Ceramics International*. 2008. Vol. 34, N 1. P. 37–44.
16. Mukherjee S. P. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1980. Vol. 42. P. 477–488.
17. Smitha V. S., Manjumol K. A., Baiju K. V. et al. // *J. Sol-Gel. Sci. Technol.* 2010. Vol. 54. P. 203–211.
18. Шалумов Б. З., Жукова Л. А., Рябенко Е. А. и др. // *Неорганические материалы*. 1986. Т. 22, № 2. С. 254–255.
19. Gunji N., Nagao Y., Misono T., Abe Y. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1989. Vol. 107. P. 149–154.
20. Ji-Jian C., Dong-Wei W. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1988. Vol. 100. P. 288–291.
21. Brinker C. J., Sehgal R., Hietala S. L. et al. // *J. Membr. Sci.* 1994. Vol. 94. P. 85–102.
22. Evans D. L. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1982. Vol. 52. P. 115–128.
23. Iler R. K. *The Chemistry of Silica*. New York: Wiley, 1979. – 304 p.
24. Coltrain B. K., Melpolder S. M., Salva J. M. // *Ultrastructure Processing of Advanced Materials* / Ed. by D. R. Uhlmann and D. R. Ulrich. New York: Wiley, 1992. P. 69–76.

T. F. KUZNETSOVA, A. I. IVANETS

THE SYNTHESIS OF MESOPOROUS XEROGELS AND MEMBRANES IN CONDITIONS OF SOL–GEL-TRANSITION OF TITANIUM (IV) AND SILICON (IV) ALCOXIDE MIXTURE

Summary

Using sol–gel-approach and deep coating quartz substratum by cohydrolysis of titanium (IV) and silicon (IV) alcoxides in acid media the mesoporous titania-silica membranes are received. They are differed from the titania and silica membranes in the adsorptive properties, and are superficial duplicates of the volume material in the mesopore size distribution. Isotherms of low-temperature nitrogen adsorption-desorption on titanium (IV) oxide, silicon (IV) oxide, titania-silica xerogels and the membranes made at various molar ratio of Ti/Si are measured. It is shown that the sorption isotherms on silica belong to the Type I and testify to formation of micropores, on titania, titania-silica double oxides and membrane composites – to the Type IV, characteristic for mesoporous adsorbents.

УДК 612.821.8:615.847.8

С. Г. ПАШКЕВИЧ¹, Г. С. ЧАИЛЯН², Ю. П. СТУКАЧ¹, Е. О. ВОЛОКИТИН¹,
Л. С. ХАНИЛО¹, О. А. АГАНЯНЦ², С. Г. ЧАИЛЯН², В. А. КУЛЬЧИЦКИЙ¹

АНАЛИЗ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ У КРЫС ПОСЛЕ ИНТРАНАЗАЛЬНОГО ИЛИ ВНУТРИМЫШЕЧНОГО ВВЕДЕНИЯ ПРОЛИННАСЫЩЕННОГО ПЕПТИДА (PRP-1)

¹Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси

²Институт биохимии им. Г. Бунятына Национальной академии наук
Республики Армения

(Поступила в редакцию 23.03.2015)

В экспериментах на 40 половозрелых крысах-самцах проведен сравнительный анализ ориентировочно-исследовательской и двигательной активности в условиях свободного поведения с помощью системы «Plus-Maze» после интраназального или внутримышечного введения нейропептида гипоталамуса PRP-1 (концентрации: 1000 мкг/мл, 100 мкг/мл, 10 мг/мл). Через 45 мин после интраназального или внутримышечного введения препарата PRP-1 только в концентрации 10 мкг/мл зарегистрировано снижение ориентировочно-исследовательской и двигательной активности экспериментальных животных. Следовательно, в небольших концентрациях нейропептид PRP-1 оказывает позитивное влияние на процессы запоминания, являющиеся основой стереотипической организации двигательной активности.

Введение. Академиком А. А. Галояном из нейросекреторных ядер гипоталамуса выделен, очищен и идентифицирован ряд нейропептидов, названных «пролиннасыщенные пептиды» (PRP – Prolyne-Rich-Polypeptide) [1]. PRP-1 (галармин, 15 аминокислотных остатков) также обнаружен в иммунокомпетентных клетках крови, в гранулоцитах костного мозга, в колоструме (первичном молоке или молозиве коров) [4; 9]:

Ala-Gly-Ala-Pro-Glu-Pro-Ala-Glu-Pro-Ala-Gln-Pro-Gly-Val-Tyr

(AGAPERAEPQPGVY)

Исследования действия PRP-1 на кровоснабжение мозга в норме и при патологии показали его способность улучшать кровоток в сосудах мозга после окклюзии общей сонной артерии. Этот пептидный препарат также характеризуется гемопозитическими, антибактериальными, противоопухолевыми и нейропротекторными свойствами [2; 3; 5; 8; 10].

Открытие нового типа цитокинов нейросекреторного гипоталамуса подтвердило гипотезу о том, что нейропептиды, активизирующие процессы памяти, обладают также иммуномодулирующей активностью [13]. В настоящее время известно, что пролин трансформирует механизмы элементарной (типа долговременной потенциации) и ассоциативной (условнорефлекторной, импринтинг) памяти, а его уникальная способность определять конформацию пролинсодержащих белков имеет решающее значение для их правильного фолдинга и реализации функций. В частности, речь идет о трансмембранной передаче информации, сборке белков Р450, чувствительности к протеолизу факторов, индуцированных гипоксией. Пролинсодержащие соединения принимают участие в патогенезе шизофрении, депрессии и болезни Альцгеймера, некоторые из них уже применяют в клинике для коррекции функций [12].

В связи с этим одной из основных задач совместного научного проекта ученых Армении и Беларуси является выделение, очистка, синтез и исследование функциональной роли насыщенных пролином пептидов гипоталамуса, которые могут стать действенным инструментом в контроле функций соматической и висцеральной сферы организма в условиях нормы и патологии.

Хорошо известна высокая значимость лимбической системы в формировании приспособительных реакций организма на изменения внешней и внутренней среды [7]. Колебания функционального состояния гиппокампа отражаются на физиологических настройках гиппокамп-гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГГГН) системы. Воздействие на механизм «программирования» в этой системе дает возможность корректировать различные заболевания [6]. Показано, что при интраназальном введении ряда пептидов их эффекты сопоставимы с процессами после внутрибрюшинной инъекции. Малая инвазивность интраназального способа применения важна для клинического использования [11; 14].

С целью сравнительного анализа когнитивных процессов после интраназального или внутримышечного введения PRP-1 проведена оценка ориентировочно-исследовательской и двигательной активности экспериментальных животных в условиях свободного поведения с помощью системы «Plus-Maze».

Материалы и методы исследования. Все манипуляции с экспериментальными животными выполняли в соответствии с правилами, регламентированными Европейской конвенцией о гуманном обращении с животными, используемыми для экспериментальных и научных целей (Страсбург, 1986).

Поведенческие реакции крыс изучали в приподнятом крестообразном лабиринте (система «Plus-Maze»), который состоит из перпендикулярно расположенных друг к другу и соединенных в виде креста четырех площадок (каждая размером 40×10 см) и квадратной площадки (размером 10×10 см) в центре. Две площадки, расположенные друг напротив друга, были открыты, две другие с трех сторон (кроме торцевой стороны, обращенной к центру) были огорожены стенками высотой 30 см. За 1 ч до проведения исследования крыс в клетках приносили в экспериментальную комнату для максимальной адаптации животных

к условиям проведения опыта. В комнате соблюдали тишину. Изучали поведенческие реакции в течение 5 мин. Параметры активности экспериментальных животных фиксировали с помощью пакета программ для визуализации поведения животных (Stoelting Inc., США). Программное обеспечение позволяет переводить аналоговые данные в цифровую форму, а также проводить их статистическую обработку.

Оценку поведенческой активности экспериментальных животных проводили за 2 дня до и через 45 мин после интраназальной аппликации (в объеме 10 мкл в каждую носовую полость) или внутримышечного введения (в объеме 0,1 мл) в межлопаточную область PRP-1 в концентрации 1000 мкг/мл (группа 1, $n = 5$ и $n = 5$), 100 мкг/мл (группа 2, $n = 5$ и $n = 5$) и 10 мкг/мл (группа 3, $n = 5$ и $n = 5$). У крыс контрольной группы (группа 4, $n = 5$ и $n = 5$) поведение оценивали до и через 45 мин после интраназальной аппликации *vehicle* или после подкожного введения иглы в межлопаточную область.

Результаты и их обсуждение. Интраназальная аппликация PRP-1. После интраназальных аппликаций PRP-1 в различных концентрациях наблюдали тенденцию к разнонаправленному отклонению подвижности животных. В отличие от этого в контрольной группе выявлено ослабление подвижности крыс (рис. 1). Выявлено, что снижение общего времени подвижности после экспериментального воздействия демонстрировали крысы, получавшие интраназально пролинсодержащий нейропептид PRP-1 в концентрациях 100 мкг/мл и 10 мкг/мл.

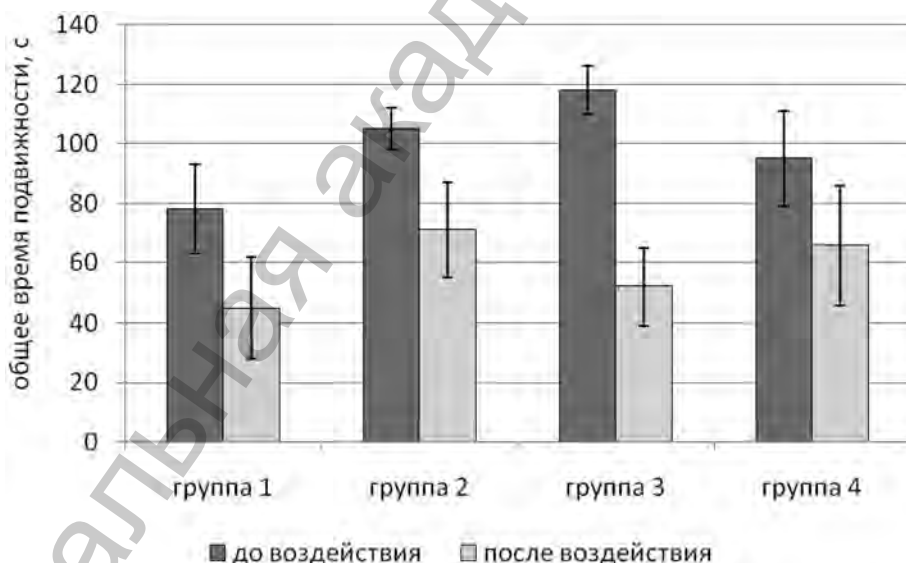


Рис. 1. Значения общего времени подвижности после интраназального введения пролинсодержащего нейропептида PRP-1 в 0,1 мл 1000 мкг/мл (группа 1), 100 мкг/мл (группа 2), 10 мкг/мл (группа 3). Группа 4 – контрольная группа

Пролинсодержащий нейропептид PRP-1 в концентрации 10 мкг/мл оказал влияние на поведение крыс в тесте приподнятый крестообразный лабиринт.

Так, после интраназальной аппликации животные демонстрировали значимое снижение пройденной дистанции (до $- 6,89 \pm 0,52$ м; после $- 4,23 \pm 1,71$ м) и дистанции, пройденной в закрытых секторах (до $- 6,03 \pm 0,66$ м; после $- 3,34 \pm 1,12$ м), средней скорости перемещения (до $- 0,0230 \pm 0,0018$ м/с; после $- 0,0140 \pm 0,0057$ м/с) и средней скорости в закрытых секторах (до $- 0,0238 \pm 0,0022$ м/с; после $- 0,0094 \pm 0,0029$ м/с), количества актов пересечения центрального сектора (до $- 26,80 \pm 1,93$; после $- 13,80 \pm 5,59$), времени вертикализации в закрытых секторах (до $- 25,10 \pm 3,24$ с; после $- 12,84 \pm 4,43$ с). При этом показатель количества посещений крысами закрытых секторов снизился (до $- 10,40 \pm 1,81$; после $- 6,60 \pm 2,29$).

Внутримышечная инъекция PRP-1. Аналогично интраназальной аппликации значимых изменений в регистрируемых показателях после внутримышечного введения PRP-1 в дозах 1000 мкг/мл или 100 мкг/мл практически не выявлено.

Количество наблюдений с пересечением центрального сектора значимо снижалось после введения тестируемого вещества или фиктивной инъекции (контрольная группа) у всех групп крыс, кроме животных, получавших в/м инъекции PRP-1 в концентрации 100 мкг/мл (рис. 2).

Не выявлено зависимости поведенческой активности крыс от дозы пролинсодержащего нейропептида PRP-1 при интраназальном или внутримышечном введении. Парадоксально, но закономерности в изменении двигательной и поведенческой активности установлены при аппликации небольшой дозы нейропептида

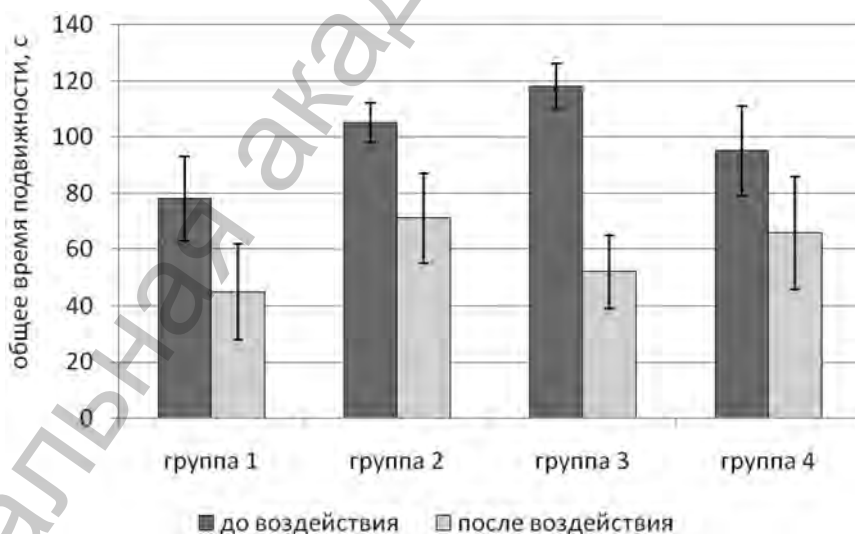


Рис. 2. Количество актов пересечения центрального сектора после внутримышечного введения пролинсодержащего нейропептида PRP-1 в 0,1 мл 1000 мкг/мл (группа 1), 100 мкг/мл (группа 2), 10 мкг/мл (группа 3). Группа 4 – контрольная группа

(10 мкг/мл). Гипотетически такой феномен объясняется побочными токсическими эффектами субстанций при ее применении в высоких концентрациях, что сопровождается нивелированием характерных реакций. При анализе данных принималось во внимание также то, что повторное тестирование животных в приподнятом крестообразном лабиринте закономерно сопровождается снижением показателей двигательной активности животных. В связи с этим при анализе полученных данных учитывали соотношение сдвига регистрируемых показателей с учетом естественного получения информации в процессе первого тестирования и той информации, которую животные получали во время второго тестирования в приподнятом крестообразном лабиринте, на фоне предъявления нейропептида, любезно предоставленного для тестирования учеными Национальной академии наук Республики Армения. В результате анализа полученных данных установлено, что после интраназального или внутримышечного введения нейропептида PRP-1 происходит снижение пройденной дистанции (с $8,73 \pm 0,75$ до $2,92 \pm 0,87$ м), средней скорости по всему лабиринту (с $0,0290 \pm 0,0026$ до $0,0100 \pm 0,0029$ м/с) и средней скорости в закрытых секторах (с $0,0326 \pm 0,0038$ до $0,0138 \pm 0,0057$ м/с), общего времени подвижности (с $144,14 \pm 12,52$ до $51,80 \pm 12,95$ с), количество посещений крысами закрытых секторов (с $30,00 \pm 6,99$ до $2,80 \pm 1,07$), дистанция, пройденная в закрытых секторах (с $7,49 \pm 0,52$ до $2,74 \pm 0,79$ м), время подвижности в закрытых секторах (с $120,62 \pm 7,79$ до $50,84 \pm 13,01$ с).

Заключение. Таким образом, аппликация пролинсодержащего нейропептида гипоталамуса PRP-1 в концентрации 10 мкг/мл сопровождается изменением контроля двигательной активности животных. Конкретно, у крыс более демонстративно проявляется обучающее действие первого тестирования. Следовательно, в небольших концентрациях нейропептид PRP-1 оказывает позитивное влияние на процессы запоминания, являющиеся основой стереотипической организации двигательной активности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Фонда развития науки Национальной академии наук Республики Армения (гранты Б14АРМ-013 и 13РБ-036).

Литература

1. Academician Armen Galoyan's Scientific Achievements. Erevan: Gritutyun, 2009. P. 120.
2. Galoian K. A., Guettouche T., Issac B. et al. // *Tumour Biol.* 2014. Vol. 35, N 3. P. 2335–2341.
3. Li W., Tailhades J., O'Brien-Simpson N. M. et al. // *Amino Acids.* 2014. Vol. 46, N 10. P. 2287–2294.
4. Markossian K. A., Gurvits B. Ya., Galoyan A. A. // *Neurokhimiya.* 1999. Vol. 16, N 1. P. 22–25.
5. Maslov V. Yu., Veselovs'kiy M. S., Moskaliuk A. O. et al. // *Fiziol. Zh.* 2014. Vol. 60, N 2. P. 3–11.
6. Rot M., Mathew S. J., Charney D. S. // *CMAJ.* 2009. Vol. 180, Issue 3. P. 305–313.
7. Vinogradova O. S. // *Hippocampus.* 2001. Vol. 11. P. 578–598.
8. Yenkovyan K., Safaryan K., Chavushyan V. et al. // *Brain. Res. Bull.* 2011. Vol. 86, N 3–4. P. 262–271.
9. Zimecki M. // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2008. Vol. 606. P. 241–250.
10. Абрамян С. С., Давтян Т. К., Хачатрян А. Р. и др. // *Нейрохимия.* 2014. № 1. С. 47–53.
11. Каменский А. А., Дубынин В. А., Левицкая Н. Г. и др. // *Рос. физиолог. журн.* 2001. № 11. С. 1493–1501.

12. Луценко В. К. // Успехи современной биологии. 2007. № 1. С. 73–86.
13. Пасуевич О. С., Читенс Г. И., Михайлова С. В. Нейро-гипофизарные гормоны. Рига: Зинатне, 1986. С. 283.
14. Целкова И. В., Кульчицкий В. А. // Вестні НАН Беларусі. Сер. мед. навук. 2012. № 4. С. 34–38.

*S. G. PASHKEVICH, G. S. CHAILYAN, Yu. P. STUKACH, E. O. VOLOKITIN, L. S. KHANILO,
H. A. AGANYANTS, S. G. CHAILYAN, V. A. KULCHITSKY*

ANALYSIS OF COGNITIVE PROCESSES IN RATS AFTER INTRANASAL OR INTRAMUSCULAR APPLICATION OF PROLINE RICH PEPTIDE (PRP-1)

Summary

In experiments on 40 rats the comparative analysis of orientation-explorative conditioned reflexes and motor activity in condition of a free behavior by using the system «Plus-Maze» after intranasal or intramuscular injection neuropeptide of hypothalamic PRP-1 (concentration of 1000 µg/ml, 100 µg/ml, 10 mg/ml) has been carried out. Through the 45 minutes after intranasal or intramuscular injection, only in concentrations of 10 µg/ml PRP-1 accompanied by reduction of orientation-explorative and motor activity of the experimental animals. Therefore, low concentrations of neuropeptide PRP-1 has a positive influence on the processes of remembering, which constitute the basis of the stereotypically organization of motor activity.

УДК 621.382; 77.001.66

Г. Д. АЛЕКСЕЕВ¹, М. А. БАТУРИЦКИЙ², А. И. БЕЛОУС³, О. А. БОЖАТКИН³,
О. В. ДВОРНИКОВ⁴, В. А. МИХАЙЛОВ², А. А. ПИСКУН¹, А. А. СОЛИН²,
А. В. СОЛИН², В. А. СОЛОДУХА⁵, Г. С. ТЕРЕХОВ⁴, В. В. ТОКМЕНИН¹,
С. В. ШВЕДОВ³

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОНИКИ СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

¹Лаборатория ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская обл., Россия

²НИУ «Национальный научный центр физики частиц и высоких энергий» БГУ

³Филиал НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл»

⁴ОАО «МНИПИ»

⁵ОАО «Интеграл»

(Поступила в редакцию 04.05.2015)

Разработана 8-канальная интегральная микросхема (ИМС) усилителя $Amp1-8.20$ с низким входным сопротивлением для регистрации сигналов с полосковых электродов мини-дрейфовых трубок с открытой геометрией катода, созданных в ОИЯИ для мюонной системы эксперимента PANDA (GSI, Дармштадт, Германия). Усилитель имеет входное сопротивление $R_{in} = 12$ Ом, коэффициент преобразования $K = 140$ мВ/мкА при напряжении питания ± 3 В. Возможно применение ИМС в экспериментах на будущих коллайдерах: NICA (Nuclotron-based Ion Collider Facility – Ионный коллайдер на базе Нуклотрона, ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл., Россия) и ILC (International Linear Collider – Международный линейный коллайдер). Для реализации ИМС филиал НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» разработал новую комплементарную биполярную СВЧ технологию с граничной частотой rpr - и prp -транзисторов $F_T = 1,5$ и $2,5$ ГГц соответственно. По данной технологии изготовлены макетные образцы двух вариантов 8-канальных ИМС однокаскадного усилителя Рашиа ($Amp1-8.11$ и $Amp1-8.12$), которые могут использоваться для регистрации сигналов от микропиксельных лавинных фотодиодов («кремниевых ФЭУ»). Разработанная электроника планируется к испытаниям в составе полномасштабного прототипа мюонной системы эксперимента PANDA.

Введение. Научная программа исследований в области физики частиц и высоких энергий, предложенная для решения с помощью многоцелевой универсальной установки PANDA (AntiProton Annihilations at Darmstadt), которая будет

располагаться на высокоэнергетическом накопительном кольце HESR (High Energy Storage Ring) ускорительного комплекса FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research, г. Дармштадт, Германия), включает широкий спектр задач, таких как спектроскопия чармония, поиск экзотических состояний, исследование адронов в веществе, структуры нуклона, физики гиперядер и многое другое [1].

Во многих вышеперечисленных процессах распады частиц происходят с образованием мюонов, поэтому идентификация мюонов оказывается исключительно важной. Мюонная система [2], которая состоит из мини-дрейфовых трубок (МДТ) [3] и электроники съема сигналов с проволок и стрипов (8-канальные усилители Ampl-8.3 и компараторы Disc-8.3 семейства DOM, получившего свое название от аббревиатуры содружества Dubna-D0-Minsk) [4; 5], является важной составной частью установки PANDA.

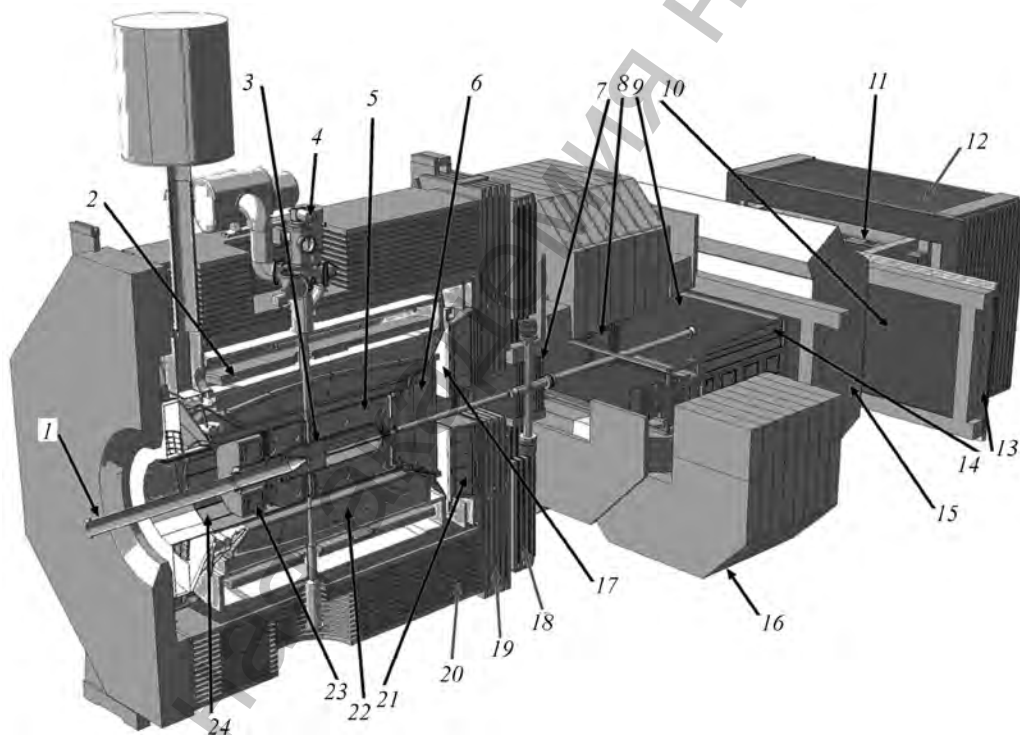


Рис. 1. Экспериментальная установка PANDA: 1 – трубопровод пучка; 2 – соленоид; 3 – микровершинный детектор; 4 – мишенная система; 5 – трекер из тонкостенных дрейфовых трубок типа «соломка» (straw tubes); 6 – газовые электронные усилители (GEM); 7–10 – трекары из тонкостенных дрейфовых трубок типа «соломка»; 11 – «шашлык»-калориметр; 12 – передняя система ранжирования переднего мюонного спектрометра; 13, 14 – стенки из времяпролетных детекторов; 15 – черенковский счетчик; 16 – дипольный магнит; 17 – диск черенковского детектора с внутренним отражением (DIRC); 18 – мюонный фильтр; 19 – цилиндрическая мюонная система (barrel); 20 – торцевой мюонный детектор; 21–23 – электромагнитные калориметры; 24 – боковой DIRC и tile-сцинтилляторы

Кооперация ОИЯИ (Дубна, Россия) и НЦФЧВЭ БГУ (Минск, Беларусь) в разработке и производстве электроники для МДТ позволила в недавнем прошлом создать и успешно эксплуатировать мюонные системы таких известных физических проектов, как D0 (Фермилаб, США – 1997–2013 гг.) [6–8] и с 2003 года по настоящее время – COMPASS (ЦЕРН, Швейцария–Франция) [9]. Однако развитие методики МДТ детекторов требует развития и совершенствования соответствующей электроники регистрации сигналов.

Установка PANDA в разрезе показана на рис. 1. Она будет регистрировать частицы практически в 4 π -геометрии (в системе центра масс), с высоким разрешением треков, надежной идентификацией и высококачественной калориметрией. Для достижения хорошего импульсного разрешения детектор содержит два магнитных спектрометра: 2 – мишенный спектрометр на базе сверхпроводящего соленоида и 7, 8, 9 – передний спектрометр на базе дипольного магнита. Не вдаваясь в подробные пояснения структуры установки, детали которой названы в подписи к рисунку, отметим, что к мюонной системе относятся позиции со следующими номерами: 12 – пробегная система переднего мюонного спектрометра; 18 – мюонный фильтр; 19 – цилиндрическая мюонная система (barrel) и 20 – торцевой мюонный детектор.

Мюонная система регистрирует координаты мюонов в слоистом железном поглотителе. Она способна идентифицировать первичные мюоны и отделять их от фона, создаваемого, главным образом, первичными пионами с малым импульсом. Для измерения координат мюонов используются двухкоординатные МДТ с открытой геометрией катода (или, по-другому, с открытым катодом) [10; 11]. Катод МДТ имеет широкий продольный разрез по всей длине, перекрытый листом стеклотекстолита с выгровированными на нем перпендикулярно проволочкам МДТ широкими полосками (стрипами), на которых наводится сигнал при прохождении мюона (рис. 2). Одна координата определяется по номеру сработавшей проволочки, вторая – по стрипу, на который попадает центр тяжести наведенного лавиной электрического заряда. Волновое сопротивление стрипов зависит от их ширины (в настоящее время считается, что наилучшее значение его должно равняться примерно 10 Ом), и в идеале такой же величины должно быть входное сопротивление усилителя, считывающего сигнал, наведенный на стрипу. Поэтому была поставлена задача разработки усилителя с низким входным сопротивлением в районе 10 Ом.

Двухкоординатные мини-дрейфовые трубки с открытым катодом. Трековые системы, построенные на многопроволочных пропорциональных камерах (МПК), склонны к самовозбуждению. Размеры камер могут быть достаточно большими (до нескольких метров), причем как анодные проволочки, так и катодные полоски (стрипы) не экранированы друг от друга. В случае возникновения паразитной генерации в одном усилителе (катодном или анодном), сигнал паразитной генерации может наводиться на остальные (как правило – ближние) каналы, и вся камера теряет работоспособность.

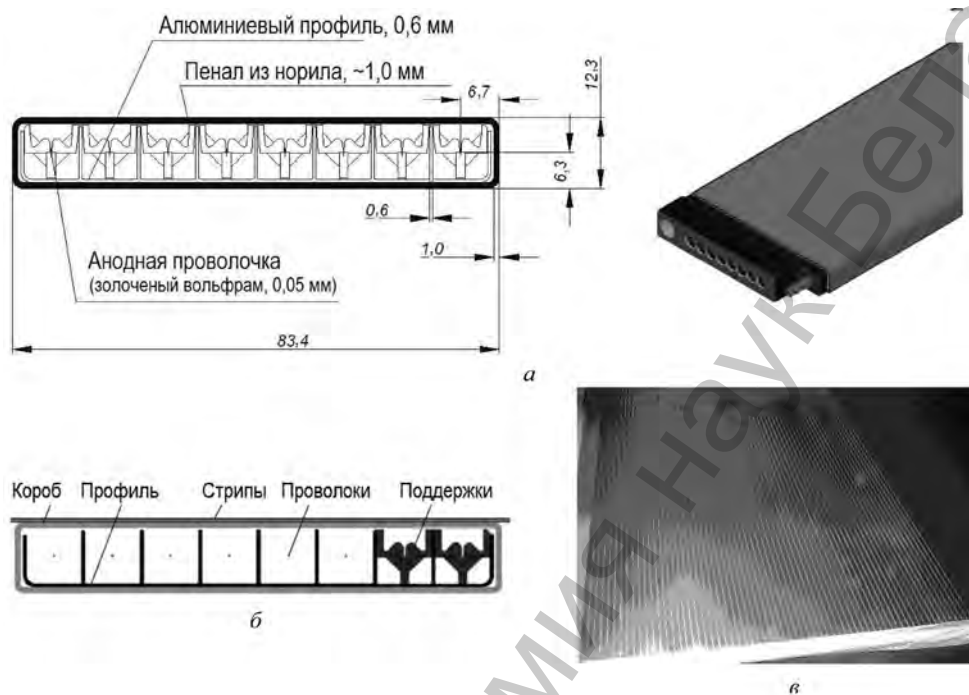


Рис. 2. Мини-дрейфовые трубки: *а* – закрытая; *б* – с открытым катодом; *в* – плоскость стрипов

В связи с этим логичным решением данной проблемы является использование в качестве детектирующего элемента газоразрядных дрейфовых трубок (цилиндрических или прямоугольного сечения) с анодной проволочкой внутри. В этом случае детектирующие элементы разных каналов оказываются экранированными друг от друга, и каналы в теле детектора оказываются полностью развязанными. Координатная информация определяется дискриминатором по превышению постоянного порога выходным импульсом усилителя. Для достижения высокой эффективности порог должен быть достаточно низким (1–1,5 мкА).

В мюонной системе эксперимента PANDA предложено использовать газоразрядные МДТ с открытым катодом.

Обычные МДТ (рис. 2, *а*) состоят из тонкостенного (0,6 мм) алюминиевого профиля с восемью ячейками сечением $9,4 \times 9,4 \text{ мм}^2$ (внутреннее), крышки из нержавеющей стали толщиной 0,15 мм, пластикового пенала из норила толщиной примерно 1 мм и анодной проволоочки из золоченого вольфрама диаметром 50 мкм, натянутой с силой 200 г. Расстояние между центрами ячеек равно 10 мм. Во всех ячейках через каждые 50–70 см по длине установлены пластмассовые поддержки, фиксирующие пространственное положение проволочек и обеспечивающие электростатическую стабильность системы. Сигнал снимается с анодов каждой ячейки отдельно. Отрицательное высокое напряжение приложено к катоду. Трубки заполнены газовой смесью $\text{Ag} + \text{CO}_2 = 70 + 30 \%$, имеющей малое ста-

рение и высокую скорость дрейфа электронов, и работают в пропорциональном режиме.

Специально для установки PANDA в ОИЯИ разработана двухкоординатная МДТ с открытым катодом, поперечное сечение которой изображено на рис. 2, б. Она способна одновременно измерять две координаты при регистрации как сигналов с анодных проволочек, так и индуцированных на внешние электроды.

Для обеспечения электрической прозрачности системы у МДТ были удалены катодные крышки из нержавеющей стали и установлены полосковые электроды (стрипы) снаружи МДТ. Стенки катода и анодные проволочки такие же, как и в обычной МДТ. Со стороны открытой части алюминиевого профиля МДТ поверх пластмассового пенала устанавливается плоскость со стрипами, направленными перпендикулярно анодным проволочкам (рис. 2, б). Для этого используется пластина двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 2 мм с нарезанными на ней стрипами шириной 1 см. Стрипы обращены к детектору, наружная фольга заземлена.

Волновое сопротивление стрипов зависит от их ширины. Эта зависимость представлена на рис. 3 для различных расстояний между плоскостью стрипов и пластиной поглотителя ($d = 0-15$ мм), которая заземлена. По совокупности параметров наилучшей определена величина $R_{in} = 10$ Ом, которая позволяет с одним усилителем согласовывать импедансы стрипов с наиболее практическими ширинами от 1 до 3 см.

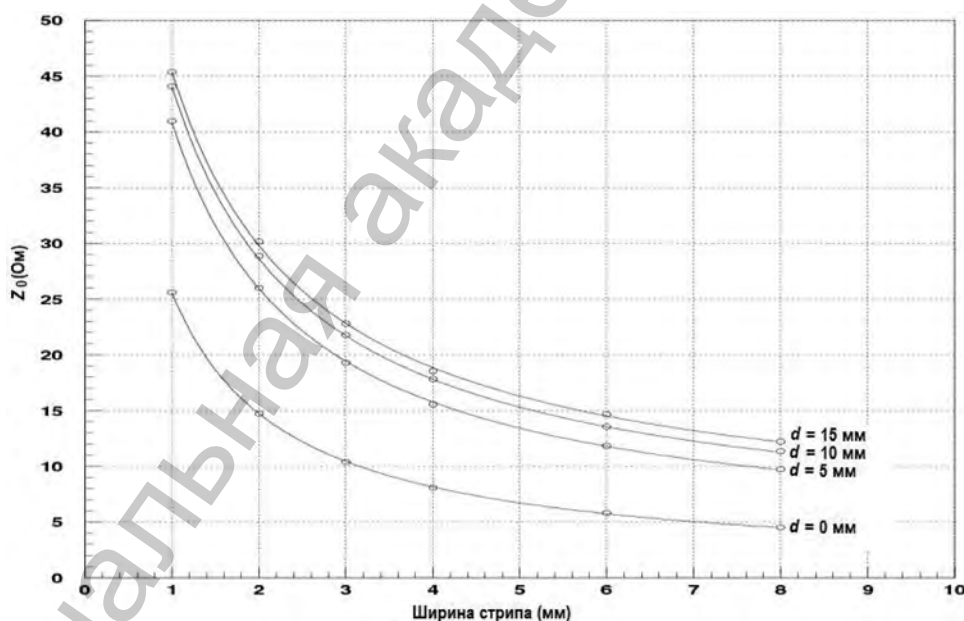


Рис. 3. Зависимость волнового сопротивления стрипов МДТ с открытым катодом от их ширины при различных расстояниях между плоскостью стрипов и пластиной поглотителя $d = 0-15$ мм

В силу этого входное сопротивление усилителя должно быть как можно ближе к этой величине. Более того, по возможности желательно иметь входное сопротивление R_i в несколько раз меньше 10 Ом, чтобы после согласования волнового сопротивления стрипа с входным сопротивлением усилителя, осуществляемого с помощью последовательно включенного со стрипом резистора $R_d = 10 \text{ Ом} - R_i$, максимальное значение выброса сигнала на входе уменьшалось образовавшимся делителем напряжения в $(R_d + R_i) / R_i$ раз, повышая устойчивость усилителя к высоковольтному пробою.

Прототип мюонной системы установки PANDA. Для отработки деталей общей конструкции, детекторов и их связи с электроникой считывания в мюонной системе установки PANDA в ОИЯИ был разработан полномасштабный прототип мюонной системы массой 10 т и имеющий 4300 электронных каналов регистрации сигналов [2]. Он состоит из пластин поглотителя из железа, МДТ с открытым катодом и регистрирующей электроники. На рис. 4 показаны пластины поглотителя из железа вместе с деталями крепежной конструкции в вертикальном положении (для работы с космическими мюонами в ЦЕРНе) и горизонтальном – для работы на пучке в ОИЯИ. В зазоры поглотителя вставляются МДТ детекторы, электронные платы крепятся снаружи поглотителя.

Регистрация сигналов с проволочек МДТ производится 32-канальными платами усилителей-дискриминаторов ADB-32 v.5.1, аналогичными использованными в мюонной системе установки D0 на 8-канальных ИМС транзистивных усилителей Ampl-8.3 и компараторов Disc-8.3 [5; 6].

Усиление положительных сигналов, наведенных на стрипах МДТ с открытым катодом, производится усилителем на двух последовательно включенных

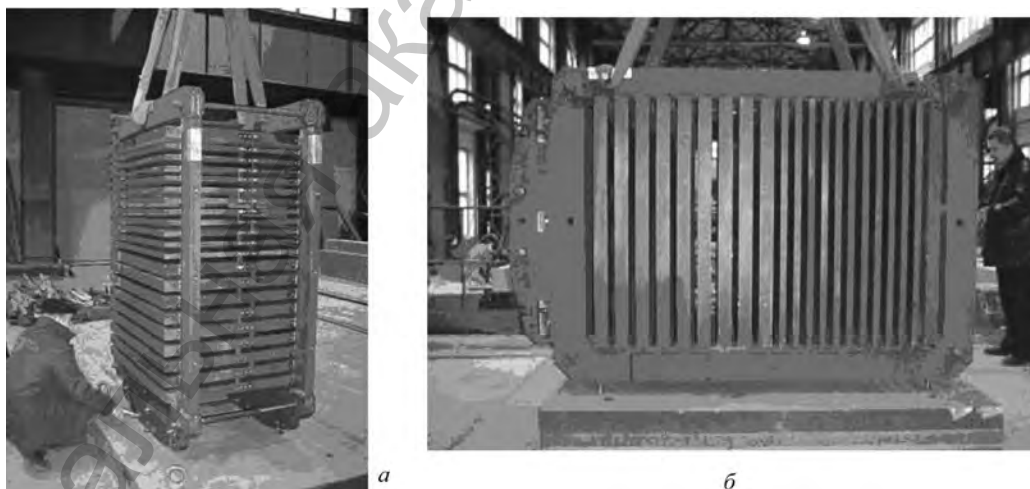


Рис. 4. Железный поглотитель прототипа мюонной системы: *а* – вертикальное положение для работы с космическими мюонами в ЦЕРН; *б* – горизонтальное положение для работы на пучке в ОИЯИ

ИМС Ampl-8.3. Такой каскадированный усилитель обеспечивает входное сопротивление $R_{in} = 50$ Ом и коэффициент преобразования $K = 450$ мВ/мкА при напряжении питания ± 5 В.

Основные преимущества использования Ampl-8.3 в прототипе мюонной системы эксперимента PANDA следующие.

1) Включение двух ИМС Ampl-8.3 через последовательную RC-цепочку позволяет получить требуемое значение коэффициента преобразования 450–500 мВ/мкА посредством подбора резистора в соединяющей их RC-цепочке;

2) Согласование входного сопротивления усилителей Ampl-8.3 (50 Ом) и волнового сопротивления стрипов в прототипе [2] достигается при их волновом сопротивлении, равном 47 Ом. Для стрипов с волновым сопротивлением 10 Ом, обеспечивающих лучшие параметры мюонной системы, требуется разработка новой ИМС усилителя;

3) Технология изготовления [12] и схемотехника ИМС Ampl-8.3 имеет высокую радиационную стойкость к облучению нейтронами и гамма-квантами и высокую надежность эксплуатации, что подтверждено долговременной эксплуатацией на установках D0 [6–8], COMPASS [9];

4) Ampl-8.3 имеет эффективную диодную защиту от высоковольтных выбросов обеих полярностей (эти выбросы индуцируются также и на стрипы МДТ с открытым катодом).

Пункты 3 и 4 особенно важны, так как электроника считывания сигналов от стрипов будет располагаться внутри мюонной системы установки PANDA в непосредственной близости от стрипов (чтобы не было внешних помех), что предполагает невозможность замены плат в течение всего срока службы установки.

Предварительные испытания показали работоспособность прототипа с МДТ и электроникой считывания на базе заказных интегральных микросхем (ИМС) семейства D0M Ampl-8.3 и Disc-8.3. В случае успеха в разработке ИМС усилителя с низкоомным входом (~10 Ом) она должна заменить ИМС Ampl-8.3, обеспечив более высокое качество регистрации сигналов от стрипов МДТ с открытым катодом и большую устойчивость к высоковольтному пробую.

Усилитель с головным каскадом Раша. В ходе разработки ИМС Ampl-8.3 ставилась задача достижения входного сопротивления 10 Ом, и она была реализована в усилителях первых двух итераций разработки, Ampl-8.1 и Ampl-8.2, однако рассеиваемая мощность оказалась недопустимо большой. Это инициировало разработку ИМС третьей итерации, Ampl-8.3, которая оказалась свободной от указанного выше недостатка, но за счет увеличения входного сопротивления усилителя до 50 Ом.

Поиск необходимого схемотехнического решения привел к использованию в качестве головного каскада усилителя Раша (Rush), наиболее быстродействующего усилителя на дискретных элементах в ядерно-физической электронике 1960–1970-х годов [13–17]. Быстродействие его достигалось в т. ч. и за счет низкоомного входа, что и предопределило его выбор для данного применения.

Усилитель Раша в микроэлектронном исполнении, изображенный на рис. 5, представляет собой повторитель тока – в данном примере параллельное включение *pnp*-транзисторов Q1 и Q1a по схеме с общей базой (ОБ), нагруженный повторителем напряжения – схема с общим коллектором (ОК), образованная параллельно включенными *pnp*-транзисторами Q2 и Q2a. Схема охвачена параллельной отрицательной обратной связью (ООС) по току, обеспечивающей низкое входное напряжение – 0,5 Ом и даже ниже [13].

В усилителе Раша импульсы напряжения малы, что ослабляет влияние перезарядки емкостей на быстродействие. Наилучшим образом схема работает при управлении током и короткозамкнутом выходе. При работе без выброса в режиме управления по току минимальное время нарастания составляет $\tau_{\Phi} = 1 / f_{T1}$ [14], где f_{T1} – граничная частота головного транзистора (Q1 и Q1a). Коэффициент усиления равен $K_i = (R_{i1} + R_{i2}) / R_{i1}$. Минимальное время нарастания (без выброса на переднем фронте) обеспечивается при усилении $K_i = 4f_{T2} / f_{T1}$ [14], где f_{T2} – граничная частота выходного транзистора (Q2 и Q2a).

Усилители Раша требуют применения транзисторов обоих типов проводимости, поэтому возникла потребность в использовании СВЧ *pnp*-транзистора и соответствующей комплементарной биполярной технологии. Существующая 3-гигагерцовая биполярно-полевая технология [12] позволяет изготавливать

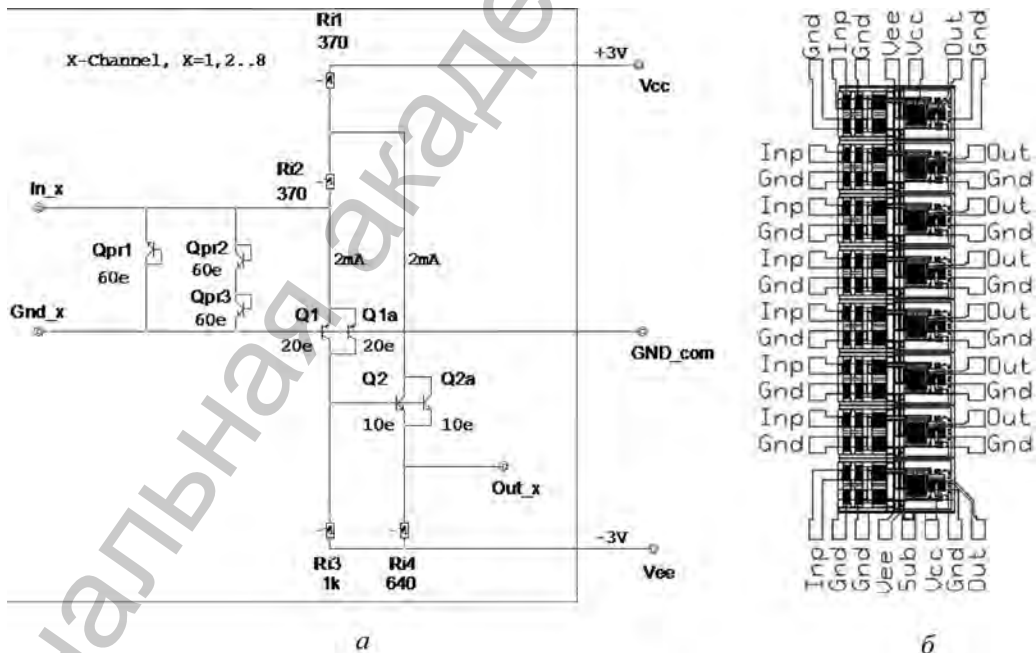


Рис. 5. Один канал ИМС Ampl-8.11 и Ampl-8.12: а – СхЭП; б – топологический чертеж 8-канальной ИМС

pnp-транзисторы с недопустимо малым коэффициентом усиления тока в схеме с общим эмиттером $\beta \approx 15$ и $f_T = 120$ МГц.

Новая комплементарная СВЧ биполярная технология. Для изготовления усилителя с низкоомным входом, обеспечиваемым головным каскадом Раша с малощумящим СВЧ *pnp*-транзистором, филиал НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» разработал новую комплементарную СВЧ биполярную технологию (КБТ). Ниже приводятся усредненные характеристики транзисторов, изготовленных по этой технологии: 1N – *pnp*-транзистор с размером эмиттера $1,5 \times 15$ мкм; 1P – *pnp*-транзистор с эмиттером такого же размера; 2N – *pnp*-транзистор с размером эмиттера $1,5 \text{ мкм} \times 23 \text{ мкм} \times 2$; 2P – *pnp*-транзистор с эмиттером такого же размера; 3N – *pnp*-транзистор с размером эмиттера $1,5 \text{ мкм} \times 23 \text{ мкм} \times 20$; 3P – *pnp*-транзистор с эмиттером такого же размера (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 1. Значения граничной частоты $F_T(U_{CB}, I_{\text{Э}})$ *pnp*-транзисторов

U_{CB} , В	1P		2P	3P
	$I_{\text{Э}} = 1 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 3 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 5 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 30 \text{ мА}$
1	697		716	923
3		842	884	1135
5		977	1009	1315
7		1093	1115	1480

Т а б л и ц а 2. Значения граничной частоты $F_T(U_{CB}, I_{\text{Э}})$ *pnp*-транзисторов

U_{CB} , В	1N		2N		3N
	$I_{\text{Э}} = 1 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 3 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 5 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 10 \text{ мА}$	$I_{\text{Э}} = 50 \text{ мА}$
1	1590		1997		2057
2					
3		1730	2143		2280
4					
5		1820		2280	2460
6					
7		1895		2417	2623

На основе измерений тестовых структур выполнена идентификация Spice-параметров элементной базы.

Полученные технологические параметры не следует рассматривать как окончательные, так как предполагается увеличение граничной частоты F_T *pnp*-транзисторов при дальнейшем совершенствовании технологии. Однако, как будет показано ниже на примере экспериментального образца 8-канального однокаскадного усилителя Раша Ampl-8.10 (рис. 5: *a* – схема электрическая принципиальная (СхЭП); *б* – топологический чертеж кристалла), он смог обеспечить

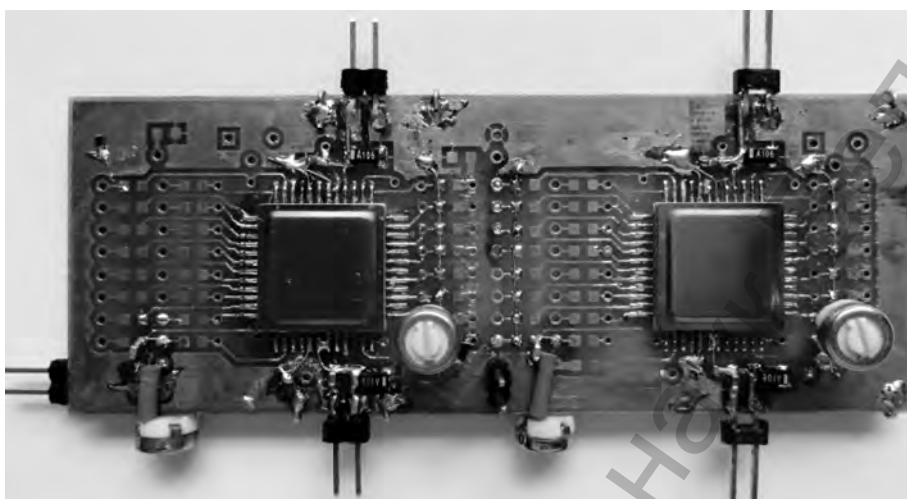


Рис. 6. Тестовая плата с ИМС Ampl-8.11 и Ampl-8.12

входное сопротивление $R_{in} = 3,7$ Ом усилителя при достаточно высоком быстродействии.

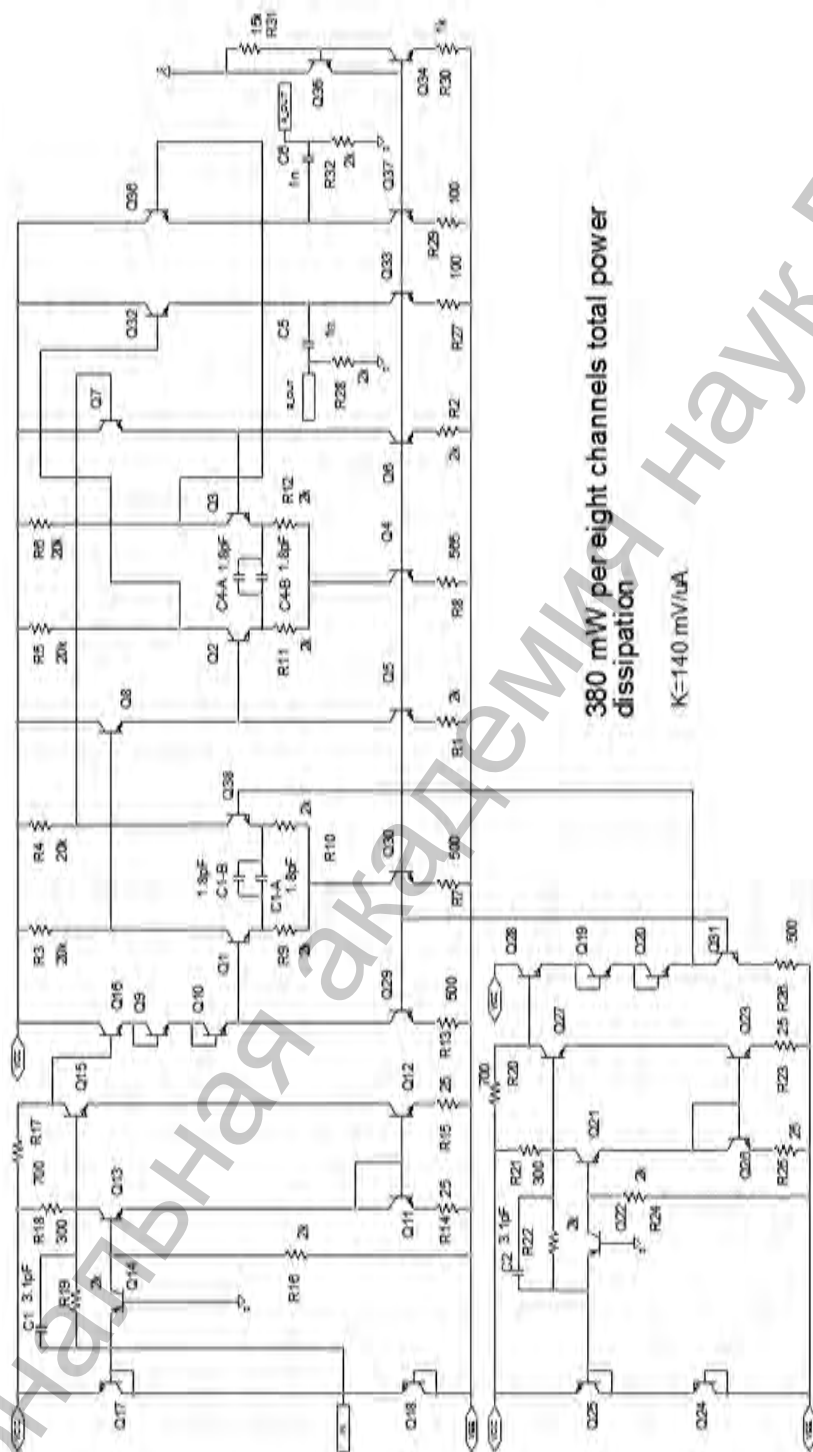
ИМС 8-канального однокаскадного усилителя Раша реализована в двух вариантах: Ampl-8.11 с головным транзистором, имеющим 20 эмиттерных полосок (подключен только Q1, рис. 5, а) и Ampl-8.12 с головным транзистором вдвое большей площади (подключены параллельно два транзистора Q1 и Q1a). Проведено измерение характеристик обоих усилителей, распаянных на печатной плате (рис. 6). Результаты измерений приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Измеренные параметры ИМС Ampl-8.11 и Ampl-8.12

Параметр	Ampl-8.11	Ampl-8.12
Напряжение питания, В	± 3	\pm
Ток потребления, мА/канал	+3,2/-3,2	+3,2/-3,2
Входное сопротивление (при нагрузке 10/50 Ом), Ом	1,8/3,7	1,9/3,0
Коэффициент усиления по току, K_i	2,0/1,9	2,1/1,8
Эквивалентный шумовой ток при работе с Ampl-8.3	52 нА+0,4 нА/пФ	–
Длительность фронта (нагрузка 10 Ом/50 Ом), нс	1,7/6,2	4,3/8,4
Задержка распространения, нс	2,2	3,1

Видно, что часть параметров зависит от величины входного сопротивления и усилитель с большим головным транзистором – медленнее.

Следует отметить, что макетные образцы Ampl-8.11, Ampl-8.12 могут использоваться как в качестве предусилителей ИМС Ampl-8.3 для увеличения коэффициента преобразования ток–напряжение, так и для усиления сигналов микросельных лавинных фотодиодов.



380 mW per eight channels total power dissipation
K=140 mV/uA

Рис. 7. СхЭП одного канала ИМС Ампл-8.20

Заказная ИМС 8-канального усилителя с низкоомным входом для газоразрядных детекторов. По новой комплементарной СВЧ биполярной технологии разработана ИМС усилителя-формирователя с низкоомным входом Амр1-8.20 (рис. 7) для считывания сигналов газоразрядных детекторов. Его структура подобна структуре Амр1-8.3, в нем также имеется опорный канал в виде каскада Раша (транзисторы Q22 и Q21) с «плавающим» входом. Головным в каскаде Раша является *pnp*-транзистор большой площади Q14, поскольку включение с ОБ позволяет использовать транзистор с меньшей F_T . В эмиттерном повторителе используется *pnp*-транзистор Q13, при этом обеспечивается коэффициент передачи по току $K_i = 7,6$. Конденсатор C1 служит для ускорения переходных процессов установления входного сопротивления каскада Раша.

Нагрузкой сигнального головного каскада служит токовое зеркало на транзисторах Q11, Q12, что позволяет полностью согласовать импедансы в широкой полосе частот. Наконец, транзистор Q15 выполняет функции усилителя напряжения с резистивной нагрузкой, при этом входные сигналы на базу и в эмиттер подаются синфазно, что обеспечивает определенную локальную обратную связь. Последующие каскады выполнены на дифференциальных парах и обеспечивают усиление сигнала и формирование требуемой переходной характеристики.

Параметры ИМС Амр1-8.20 приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Параметры ИМС Амр1-8.20

Параметр	Результаты моделирования
Напряжение питания, В	$\pm 3,0$
Токи потребления, на канал, мА	7,9
Входное сопротивление, Ом	12
Потребляемая мощность, мВт	380
Коэффициент преобразования «ток–напряжение» (дифференциальный), мВ/мкА	140
Время нарастания по уровням 0,1/0,9, нс	14
Размах выходного дифференциального сигнала, максимальный, В	2,0
Входной ток в линейном режиме, максимальный, мкА	15
Динамический диапазон, дБ	≥ 40
Количество каналов	8
Тип корпуса	Н 16.48-1В НБ

Благодаря пониженному напряжению питания (± 3 В), удалось обеспечить потребляемую мощность на уровне 47,5 мВт/канал, или 380 мВт/корпус. Величина сопротивления нагрузки выходного каскада 2 кОм на плечо выбрана для уменьшения потребляемой мощности.

Интегральная нелинейность характеристики преобразования наблюдается при входном токе, превышающем 15 мкА. Различие в поведении положительного и отрицательного плеч выходного каскада обусловлено применением эмиттерно-

го повторителя на транзисторах одной проводимости и необходимостью ограничения тока покоя выходного каскада.

Следует отметить, что не удалось достигнуть входного сопротивления, не превышающего 10 Ом, хотя для Ampl-8.11 и Ampl-8.12 была получена меньшая величина. Это объясняется особенностью подключения головного каскада Раша к дифференциальному каскаду, а именно, сигнал подается на согласующие токовые зеркала не только с эмиттера повторителя, но и с его коллектора, нарушая чистоту параллельной ООС по току, ответственную за низкое входное сопротивление усилителя Раша. Однако схема сопряжения с токовыми зеркалами, примененная здесь, позволила избежать применения разделительных конденсаторов больших номиналов (~15 нФ в [13] и вплоть до электролитических в [17]), которые не могут быть реализованы по интегральным технологиям. Фактически оказалось, что использование токовых зеркал для сопряжения входного каскада Раша оказалось единственно возможным схемотехническим решением, позволяющим реализовать этот усилитель в виде ИМС. В то же время согласование волнового сопротивления стрипа МДТ с открытым катодом 10 Ом с входным сопротивлением усилителя 12 Ом будет практически таким же, как и при входном сопротивлении 10 Ом.

Для разработки и массового изготовления ИМС 8-канальных усилителей с низкоомным входом в Республиканскую программу «Микроэлектроника ЭКБ» включено совместное с Филиалом НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» задание «Разработать комплект заказных интегральных микросхем восьмиканального усилителя с низким входным сопротивлением для применения в газоразрядных проволочных детекторах, используемых в экспериментальной ядерной физике».

Заключение. Разработана 8-канальная ИМС усилителя Ampl-8.20 с низким входным сопротивлением для регистрации сигналов с полосковых электродов МДТ с открытой геометрией катода, разработанных в ОИЯИ для мюонной системы эксперимента PANDA (GSI, Дармштадт, Германия). Конструкция мюонной системы требует высокой надежности считывающей надетекторной электроники и устойчивости к высоковольтному пробую и самовозбуждению, поскольку в отдельных местах доступ к электронике будет невозможен в течение всего срока службы системы. Поэтому входное сопротивление усилителя задано равным $R_{in} = 12$ Ом. Усилитель имеет коэффициент преобразования $K = 140$ мВ/мкА при напряжении питания ± 3 В. Возможно применение ИМС в экспериментах на будущих коллайдерах NICA и ILC. Отличие усилителя заключается в том, что в качестве головного каскада использован усилитель Раша, известный в дискретной ядерно-физической электронике благодаря своему быстродействию и низкому входному сопротивлению.

Для реализации ИМС филиал НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» разработал новую комплементарную биполярную СВЧ технологию с граничной частотой f_T npr - и pnp -транзисторов $f_T = 1,5$ и $2,5$ ГГц соответственно. По данной

технологии изготовлены макетные образцы двух вариантов 8-канальной ИМС однокаскадного усилителя Раша (Ampl-8.11 и Ampl-8.12), отличающиеся размерами головного *pnp*-транзистора. Эти усилители могут использоваться для регистрации сигналов от микропиксельных лавинных фотодиодов («кремниевых ФЭУ»).

Для разработки и массового изготовления ИМС 8-канальных усилителей с низкоомным входом в республиканскую программу «Микроэлектроника ЭКБ» включено совместное с Филиалом НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» задание «Разработать комплект заказных интегральных микросхем восьмиканального усилителя с низким входным сопротивлением для применения в газоразрядных проволочных детекторах, используемых в экспериментальной ядерной физике».

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф11Д-002); ОИЯИ (контракт №200/1033) и ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл» (договор № 64-13А-2012).

Литература

1. Technical Progress Report for PANDA. FAIR-ESAC/Pbar/Technical Progress Report. 2008.
2. Technical Design Report for the PANDA Muon System (AntiProton Annihilations at Darmstadt). Strong Interaction Studies with Antiprotons PANDA Collaboration. September 2012.
3. Абазов В. М. и др. Результаты испытания мини-дрейфовых трубок для передней мюонной системы установки D0: Препринт ОИЯИ P13-2004-155. Дубна, 2004.
4. Alexeev G. D. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1999. Vol. A423. P. 157–162.
5. Alexeev G. D. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2001. Vol. A462. P. 494–505.
6. Alexeev G. D. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2001. Vol. A473. P. 269–282.
7. Abazov V. M. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2005. Vol. A552. P. 372–398.
8. Abazov V. M. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2006. Vol. A565/2. P. 463–537.
9. Mallot G. K. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2004. Vol. 518, Issues 1–2. P. 121–124.
10. Абазов В. М. и др. Координатная точность мини-дрейфовых трубок при регистрации наведенного сигнала: Препринт ОИЯИ P13-2009-164. Дубна, 2009.
11. Абазов В. М. и др. Сравнение работы мини-дрейфовых трубок различной конструкции: Препринт ОИЯИ P13-2009-164. Дубна, 2009.
12. Baturitsky M. A. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1996. Vol. A378. P. 570–576.
13. Акимов Ю. К. и др. Быстродействующая электроника для регистрации ядерных частиц. М.: Атомиздат, 1970. – 416 с.
14. Мейлинг В., Стари Ф. Наносекундная импульсная техника. М.: Атомиздат, 1973. – 384 с.
15. Агаханян Т. М., Гаврилов Л. Е., Мищенко Б. Г. Основы наносекундной импульсной техники. М.: Атомиздат, 1976. – 376 с.
16. Дмитриева Н. Н., Ковтюх А. С., Кривицкий Б. Х. Ядерная электроника. М.: Изд-во МГУ, 1982. – 382 с.
17. Мелешко Е. А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат. – 216 с.

*G. D. ALEXEEV, M. A. BATOURITSKI, A. I. BELOUS, O. A. BOZHATKIN, O. V. DVORNIKOV,
V. A. MIKHAILOV, A. A. PISKUN, S. V. SHVEDOV, A. A. SOLIN, A. V. SOLIN, V. A. SOLODUKHA,
G. S. TEREKHOV, V. V. TOKMENINH*

**THE MUON SYSTEM PROJECT FOR NEW PARTICLE
AND HIGH ENERGY PHYSICS EXPERIMENTS**

Summary

The 8-channel low impedance amplifier integrated circuit (IC) Ampl-8.20 has been designed for Front-End Electronics of mini-Drift Tubes (MDTs) with «open cathode» geometry designed in JINR for the Muon System of the PANDA project (GSI, Darmstadt, Germany). The amplifier has input impedance $R_{in} = 12 \text{ Ohm}$, gain $K = 140 \text{ mV}/\mu\text{A}$ at voltage supply $\pm 3 \text{ V}$. These ICs may have been used in future project NICA (Nuclotron-based Ion Collider Facility, JINR, Dubna, Russia) and ILC (International Linear Collider, Japan). The Branch «Belmicrosystems» of the Joint Stock Company «Integral» has been especially designed new UHF complementary bipolar technology with boundary frequency of pnp- and npn-transistors $F_T = 1.5$ and 2.5 GHz , respectively. Using this technology two versions of an 8-channel single-stage Rush amplifier have been produced as a test structure of the new technology. They may be used to pick-up signals from Si-PMTs. The electronics designed is planned to be tested in the full-size prototype of the Muon System Prototype of the PANDA experiment.

УДК 595.3 – 94:504.062.4

В. В. ВЕЖНОВЕЦ¹, А. ШКУТЕ²

ВОЗМОЖНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ УТРАЧЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РЕЛИКТОВЫХ РАКООБРАЗНЫХ НА ПРИМЕРЕ БЫВШЕГО ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ АЭС

¹Государственное научно-практическое объединение «Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»,

²Институт экологии при Даугавпилском университете, Латвия

(Поступила в редакцию 20.05.2015)

Рассмотрена перспектива естественного восстановления утраченных популяций реликтов в водоеме-охладителе Игналицинской АЭС – озере Дрисвяты, которое подвергалось тепловому загрязнению в течение 25 лет (1984–2009 гг.). Установлены находки реликтов в озере и одном из его притоков. Показана принципиальная возможность восстановления реликтовой фауны посредством поступления их с речными водами из донорского водоема с реликтами – озера Ричи. Исследование популяции наиболее вероятного мигранта из реликтовых ракообразных – лимнокалянуса показало возможность этого явления при понижении температуры в озерах и соединяющей их реке до 10 °С. Определены сроки миграции (март–апрель), совпадающие с интенсивным массовым поступлением молоди новой генерации. Миграциям с речным стоком в составе дрефта подвержены младшие стадии развития лимнокалянуса. Установленный механизм естественной ренатурализации возможен и для других видов реликтов и для других водных экосистем Беларуси, где ранее обитали реликты.

Введение. В водоемах Беларуси встречается 4 вида ракообразных морского и солоновато-водного происхождения. Этот комплекс включает следующие виды: *Limnocalanus macrurus* Sars (Copepoda) – длиннохвостый лимнокалянус, *Pontoporeia (Monoporeia) affinis*, Lindström – понтопорея, *Pallasiola quadrispinosa* Sars (Amphipoda) – бокоплав Палласа, или палласея, *Mysis relicta* Loven (Mysidacea) – реликтовая мизида. Все они относятся к реликтовой фауне и занесены в Красную книгу Республики Беларусь. Считается, что центр формирования этих видов располагается в Арктическом бассейне, где наряду с предковыми формами встречаются переходные и пресноводные [1]. В водоемах Беларуси эти виды находятся на южной границе распространения, населяют мезотрофные с чертами олиготрофии озера, являются индикаторами чистой воды и основным компонентом в районе сиговых рыб (сиг, ряпушка, снеток).

В силу разных причин популяции этих требовательных к качеству воды видов животных исчезли из ряда водоемов. Этот процесс ускорился антропоген-

ным воздействием на водоемы, что стимулировало их эвтрофирование и привело к снижению качества воды и изменению среды их обитания. Наиболее быстро эти процессы происходили в 1980-е годы.

За годы перестройки, в связи со снижением антропогенного воздействия и совершенствованием системы природоохранных мероприятий, часть водоемов, где были утрачены популяции реликтов, за счет самоочищения восстановили свои первоначальные качества и сейчас вполне пригодны для обитания этих видов. Другими словами в этих водоемах создались благоприятные условия для жизнедеятельности и воспроизводства популяций реликтовых видов. Поэтому в настоящее время появилась возможность для реинтродукции реликтов в водоемы, где они раньше обитали.

Есть два пути восстановления популяций – искусственное заселение этих водоемов и естественная миграция или перенос с течением по водотокам, соединяющим водоемы донор и реципиент. Искусственная реинтродукция – достаточно затратное мероприятие, требующее значительных капиталовложений. При этом учитывая холодолюбивость реликтов и узкий диапазон толерантных температур, такие биотехнические мероприятия возможно проводить только в холодное время года. В случае естественного восстановления необходимо иметь водоем донор с устойчивым развитием реликтовой фауны, установить, достаточен ли водообмен между водоемами и способность того или иного реликта к переносу в составе дрефта или к саморасселению за счет миграционной активности. При этом человек играет пассивную роль, а затраты минимизируются.

Нами рассматривается перспектива восстановления популяций реликтов в водоеме-охладителе Игналинской АЭС – озере Дрисвяты, которое подвергалось тепловому загрязнению в течение 25 лет (1984–2009 гг.). До пуска АЭС в озере обитали 3 вида реликтов: лимнокалянус, мизида и палласея. В результате подогрева воды эти холодолюбивые животные выпали из состава фауны. Однако уже после остановки станции в 2011 г. эти животные найдены на одной из глубоководных станций, ранее заселенной этими животными. Кроме того, в одном из притоков озера в зимнее время были обнаружены реликтовые рачки. В результате была выдвинута гипотеза о естественной реинтродукции реликтовой фауны в этот водоем с речным стоком. В речных экосистемах реликты не обитают, они характерны только для стоячих водоемов. Процесс восстановления популяций с речным стоком или за счет миграционной активности и перемещения по руслам водотоков в литературе не описан. Не известны такие вопросы, как проникновение животных в систему озеро–река, выживание в составе дрефта, поступление в другой водоем и натурализация. Так как в исследованной системе наиболее изучена популяция лимнокалянуса, процесс возможного восстановления рассматривается на примере этого вида.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены на водной системе оз. Ричи – р. Ричанка – оз. Дрисвяты, расположенной в Браславском районе Витебской области. Эта система является трансграничной и объединяет во-

доемы Латвии, Беларуси и Литвы (рис. 1). Озеро Дрисвяты и р. Ричанка обследовали в 2006 г., во время работы последнего энергетического блока АЭС и в 2011, 2012 и 2014 гг. – после остановки станции. Кроме того, для озера Дрисвяты привлечены собственные материалы исследований 1970-х и 1980-х годов до пуска АЭС. На озере Ричи нами проводятся ежегодные сборы зоопланктона в рамках научного мониторинга начиная с 2008 г. по настоящее время. Оба озера являются пограничными. Озеро Ричи (Эзерс) располагается на границе с Латвией, государственная граница проходит по акватории водоема и делит озеро приблизительно поровну. Максимальные глубины расположены на белорусской части. Озеро Дрисвяты (Друкшай) граничит с Литвой, большая часть располагается на литовской стороне, белорусская часть составляет только 20 % акватории.

Оба водоема достаточно глубоководные и принадлежат к мезотрофному типу (табл. 1). Максимальные глубины, где летом располагается основная часть попу-

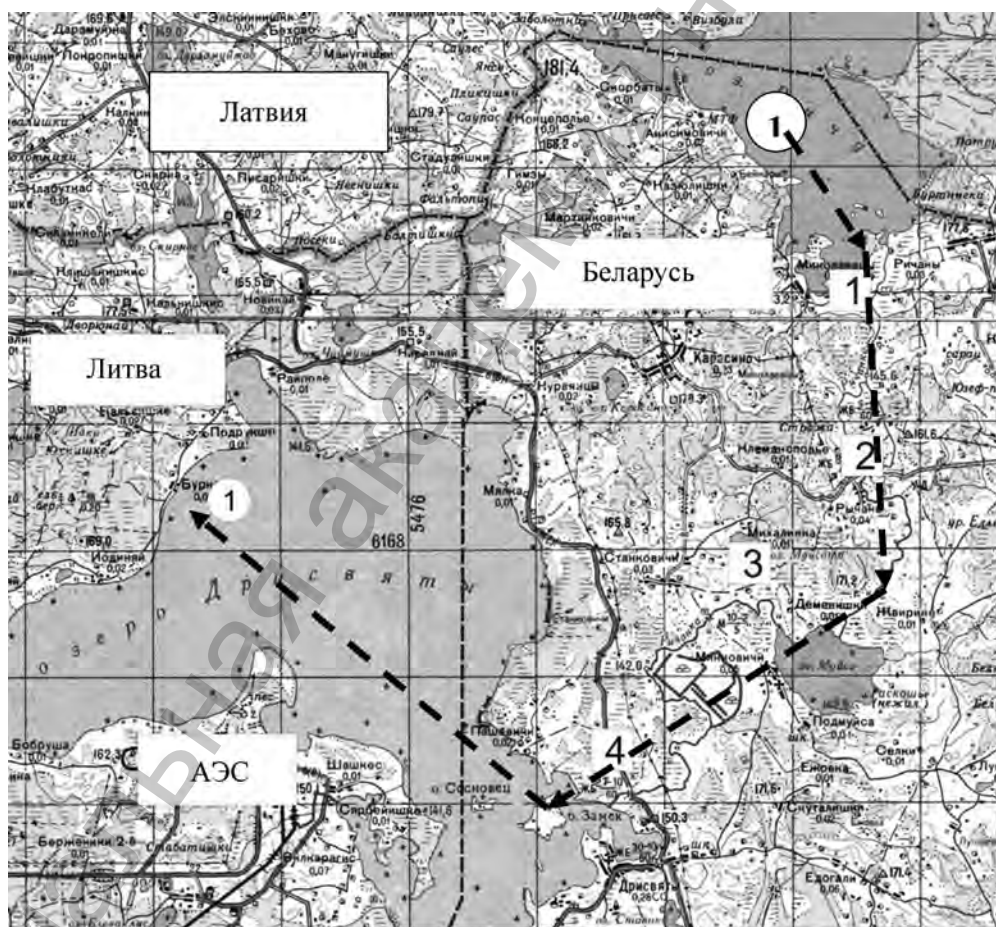


Рис. 1. Карта-схема возможного пути перемещения лимнокальянуса из оз. Ричи в оз. Дрисвяты и регистрации его на р. Ричанка и в оз. Дрисвяты

ляций реликтов в оз. Дрисвяты расположены на литовской стороне, а в оз. Ричи – на белорусской.

Т а б л и ц а 1. Основные морфометрические данные исследованных озер

Озеро	Площадь зеркала, км ²	Объем воды, млн.м ³	Длина озера, км	Ширина макс., км	Глубина макс., м	Глубина средняя, м	Источник информации
Ричи, все озеро	12,84	131,5	6,27	3,73	51,9	10,2	[3]
Дрисвяты, все озеро	44,5	313	13	5,8	31,0	–	[3]
Дрисвяты, белорусская часть	9,06	49,1958	7,95	2,85	19,5	5,43	[2]

Река Ричанка (Муйсатка) вытекает из оз. Ричи, исток располагается в 1 км на восток от дер. Кривосели, протекает через оз. Муйсо и впадает в оз. Дрисвяты приблизительно в 0,4 км северо-восточнее дер. Дрисвяты. Первый створ расположен в 0,15 км от истока, второй и третий – в 4 и 8 км ниже по течению и последняя станция в 0,2 км выше устья. Протяженность реки составляет 16 км [2]. Площадь водосбора по разным источникам – от 150 до 208 км², что позволяет отнести ее к категории равнинных малых или самых малых рек. Ширина реки на разных участках меняется от 4 до 20 м, на створах отбора проб ширина составляла около 5 м, при изменении скорости течения от 0,13 до 0,25 м/с.

Отбор проб производился в пелагиали озер – от станции с максимальной глубиной до станции с глубиной 5 м количественной замыкающейся сетью Джели с диаметром ячеи фильтрующего конуса 120 мкм. Облавливался весь столб воды до фракционно с интервалом глубины каждые 5 м. Для установления вертикальных суточных перемещений в толще воды ловы проводили каждые 6 ч в течение суток. На более мелководных станциях и в реке сборы зоопланктона получали процеживанием 50 л воды через качественную сеть с диаметром пор фильтрующего конуса 45 мкм. При каждом обследовании также измеряли основные показатели среды обитания – температуру и содержание растворенного кислорода.

Лабораторную обработку проб проводили в счетной камере Богорова под бинокулярным микроскопом МБС-10 при увеличении 4 × 8. Для уточнения деталей морфологии использовали световой микроскоп с увеличением до 600. В пробе производился учет всех стадий развития – науплиальных и копепоидных. Для идентификации животных этих стадий развития у лимнокалянуса применялись оригинальные определительные таблицы, созданные ранее авторами данного сообщения.

Результаты и их обсуждение. *Краткая характеристика биологии исследуемого вида и его местообитаний в пределах Беларуси.* Длиннохвостый лимнокалянус – *Limnocalanus macrurus* Sars, 1863 один из четырех видов реликтовых ракообразных в водоемах Беларуси. Планктонный моноциклический вид. Размножение приурочено к зимнему периоду. В своем развитии от яйца до половозрелого

го животного проходит 6 науплиальных и 6 копеподитных стадий. В силу своего северного происхождения населяет глубоководные слои олиготрофных и мезотрофных озер, где температура воды в летнее время не превышает 6–8 °С. Основной ареал в водоемах северного полушария в озерах и устьях крупных северных рек. По территории Витебской области Беларуси проходит южная граница распространения этого вида в Европе.

За все время регистрировался в 10 озерах Витебской области [4–11]. Основные характеристики этих озер представлены в табл. 2. По приведенным характеристикам все озера относятся к мезотрофному типу, имеют значительные величины прозрачности (не менее 3,5 м), что свидетельствует о высоком качестве воды в них. За исключением озера Снуды, во всех озерах максимальная глубина составляет более 20 м и в летнее время устанавливается термическое расслоение водной толщи.

Т а б л и ц а 2. Некоторые характеристики озер Беларуси, в которых был встречен *L. taeniorus*

Озеро	Макс. глубина, м	Площадь, км ²	Прозрачность, м	pH пов./дно	Температура, придонная летом, °С	Содержание кислорода у дна летом, % насыщения	Биомасса зоопланктона, г/м ³
Ю. Волос	40,4	1,21	5,5–6,5	8,6/7,0	4,4–6,0	54,7	0,6–0,8
С. Волос	29,2	4,21	5,5–6,0	8,3/7,5	7,1–7,2	5,8	1,1–1,2
<i>Дрисвяты</i>	31,0	44,50	3,5–6,0	8,3/7,3	7,5–7,6	25,0	0,7–1,6
<i>Ричи</i>	51,9	12,84	4,7–5,0	7,2/6,8	5,4–6,2	24,8	0,9–1,1
Сита	28,5	1,88	3,8–4,2	8,0/6,8	6,0–6,3	35,4	1,1–1,5
<i>Струсто</i>	23,0	13,00	4,0–4,5	8,3/7,6	7,5–7,8	63,1	0,9–1,0
<i>Снуды</i>	16,5	22,00	4,0–4,5	8,3/7,6	10,5–12,8	27,1	0,9–1,1
Долгое	53,6	2,60	4,0–5,0	8,4/7,2	5,0–5,6	63,1	0,9–1,1
<i>Кривое</i>	31,5	4,50	3,7–5,5	8,2/7,3	5,5–6,0	31,1	0,8–0,9
<i>Бобыно</i>	32,3	0,49	3,5–3,7	8,6/7,9	4,4–6,6	21,3	1,1–1,3

Примечание. Курсивом отмечены озера, где утрачены популяции лимнокалянуса, полужирным – исследуемые озера.

Число озер, пригодных для обитания рачка, постепенно сокращается в силу разных причин, основными из которых являются антропогенное эвтрофирование и загрязнение. Стабильные и относительно многочисленные популяции к настоящему времени сохранились в трех озерах: Южный Волос, Ричи Браславского и Долгое Глубокского района (табл. 3). Нами впервые в зимнее и ранне-весеннее время сезона 2005–2006 гг. лимнокалянус был обнаружен и в р. Ричанка, вытекающей из одноименного оз. Ричи. В силу своих биологических особенностей в реке вид не может образовывать постоянные популяции, но она может служить транзитным водотоком, по которому животные в зимнее время могут проникать в другие водоемы.

Т а б л и ц а 3. Величины максимальной плотности (экз./м³) *Limnocalanus macrurus* в озерах Беларуси

Озеро	Данные по [4], 1947 г.	Собственные данные				
		1976 г.	1988 г.	1992 г.	2007 г.	2011 г.
Ю.Волос	3700	8821	529	2568	4729	3282
Сев. Волос	1000	302	0	40	20	107
<i>Дрисвяты</i>	3200	3435	5600*	–	0	4
Ричи	18300	3250	1229	16551	15785	10631
Сита	–		5462	10090	6772	4
<i>Струсто</i>	–	226	64	0	–	0
<i>Снуды</i>	40	0	24	0	–	0
Долгое	–	181	2422	289	33021	2200
<i>Кривое</i>	–	X	0	0	0	–
<i>Бобыно</i>	–	–	14	0	–	–
р. Ричанка	–	–	–	–	440	–

П р и м е ч а н и я: 0 – не обнаружен; «–» – нет данных; * – по сборам 1981 г. до пуска Игналинской АЭС. Курсивом отмечены озера, где утрачены популяции лимнокалянуса, полужирным – исследуемые озера.

Это наиболее изученный вид из реликтов, постоянные и ежегодные наблюдения за состоянием его популяции в оз. Южный Волос проводятся лабораторией гидробиологии с 1972 года. Лимнокалянус включен в Национальную систему мониторинговых наблюдений (НСМОС), с 2006 г. состояние его популяций ежегодно оценивается в оз. Волос и Долгое.

Основными угрозами для существования популяций лимнокалянуса является антропогенное ускорение естественного процесса эвтрофирования озер, который в основном стимулируется поступлением биогенных веществ с водосбора, увеличивающейся рекреационной нагрузкой. В результате этих процессов снижается содержание кислорода в гипolimнионе и придонных слоях воды, где обитает основная часть популяции, что приводит к нарушению жизненного цикла и угнетению развития популяций. Особенно важен уровень концентрации в зимний период, который совпадает с размножением и существенно сказывается на воспроизводстве.

Современное состояние водоема-реципиента озера Дрисвяты. С целью оценки пригодности экосистемы озера для воссоздания и воспроизводства популяции был изучен термический и кислородный режим и взяты пробы на гидрохимический анализ. На белорусской части акватории, в связи с приграничным режимом, для исследования была доступна только станция с максимальной глубиной 9 м. Исследования показали, что среднеглубокие станции белорусской части озера по основным показателям не соответствуют условиям для жизнедеятельности популяций реликтов (табл. 4). Температурного расслоения водной толщи не наблюдается, однако, начиная с глубины прозрачности, наблюдается резкий спад со-

держания кислорода, т. е. выраженный оксиклин. Подобного явления на этой станции в допусковой период не наблюдалось [12], а после остановки станции наблюдается, по-видимому, постоянно [13; 14].

Т а б л и ц а 4. Вертикальное распределение температуры и содержания кислорода (O₂) на среднеглубокой станции (ст. Мялка, Беларусь, 26.07.2014)

Глубина, м	Температура, °С	O ₂ , мг/л	O ₂ , %
Поверхность	24,2	9,4	111,2
1	24,2	8,7	101,4
2	24,2	8,2	96,0
3	24,0	7,2	83,5
4	21,9	4,7	50,3
5	20,8	4,2	43,5
6	20,5	4,2	43,6
7	20,4	3,6	41,6
8	19,2	3,3	29,5
9	16,1	0,9	8,4

Для глубоководных станций на литовской территории летом получены следующие данные (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Вертикальное распределение температуры и содержания кислорода на станции с максимальной глубиной (ст. Тильже, Литва, 28.07.2014)

Глубина, м	Температура, °С	O ₂ , мг/л	O ₂ , %
0,2	24,3	9,3	108,8
1	24,3	8,7	101,6
2	24,2	8,3	95,8
3	24,2	8,8	105,4
4	22,5	9,2	108,6
5	18,2	7,4	75,8
6	17,4	6,8	68,6
7	16,8	6,6	65,5
8	16,7	6,6	65,5
9	16,2	6,4	63,8
10	15,7	6,3	62,6
11	15,5	6,0	60,0
12	15,1	5,8	56,2
13	14,6	5,7	55,4
14	12,3	5,6	51,8
15	11,7	5,5	50,5
16	8,7	5,4	47,6
17	7,1	5,3	45,6
18	7,0	3,9	29,0
19	6,9	3,3	25,8

Окончание табл. 5

Глубина, м	Температура, °С	O ₂ , мг/л	O ₂ , %
20	6,9	3,2	25,5
21	6,9	3,0	22,8
22	6,9	2,9	22,7
23	6,9	2,7	21,4
24	6,8	2,5	20,2
25	6,8	2,5	20,2
26	6,8	2,3	20,1
27	6,8	2,0	17,0
28	6,8	1,7	14,2
29	6,8	1,6	13,5

В сравнении с мелководными станциями белорусской территории на глубоководной в Литве наблюдается хорошо выраженный термоклин с падением температуры с 24 °С у поверхности до 6,8 – у дна. Начиная с глубины 16 м создаются благоприятные температурные условия для жизнедеятельности лимнокалянуса. Если рассматривать критическую концентрацию растворенного кислорода на этой станции, то только начиная с глубины 27 м она становится ниже пороговых для этого вида (2,0 мг/л). Таким образом, по данным параметрам условия в этом водоеме вполне приемлемы для выживания популяции.

Необходимо отметить, что прозрачность воды, измеренная по белому диску Секки, на исследованных станциях изменялась в пределах 3,5–4,0 м, эти показатели были характерны для водоема и в допусковой период [1; 12].

В допусковой период лимнокалянус обитал на обеих глубоководных станциях северного плеса озера. Его средняя численность в столбе воды в среднем составляла десятки, а в отдельные годы и сотни экземпляров в кубометре воды. Популяции в этом водоеме были свойственны значительные колебания плотности (рис. 2) и до начала работы АЭС. Максимальная плотность наблюдалась нами в 1977 г., а межгодовые колебания средней численности изменялись на порядок. Часть популяции сохранилась и в первые годы после пуска АЭС. Вероятно, это произошло потому, что в эти два года продолжались пуско-наладочные работы, и подогрев не был постоянным.

Обнаружение лимнокалянуса уже через 2 года после остановки АЭС на одной из двух станций, где он раньше обитал, свидетельствует о начале процессов естественного восстановления популяции. При этом известно, что *L. macrurus* не откладывает покоящихся яиц, которые могли бы сохраниться долгое время и служить материалом для восстановления популяции [9]. Поэтому единственным из вероятных путей проникновения животных в это озеро остается миграция и поступление с речным стоком из близлежащих водоемов, имеющих в своем составе реликтовую фауну и, в частности, этот вид ракообразных.

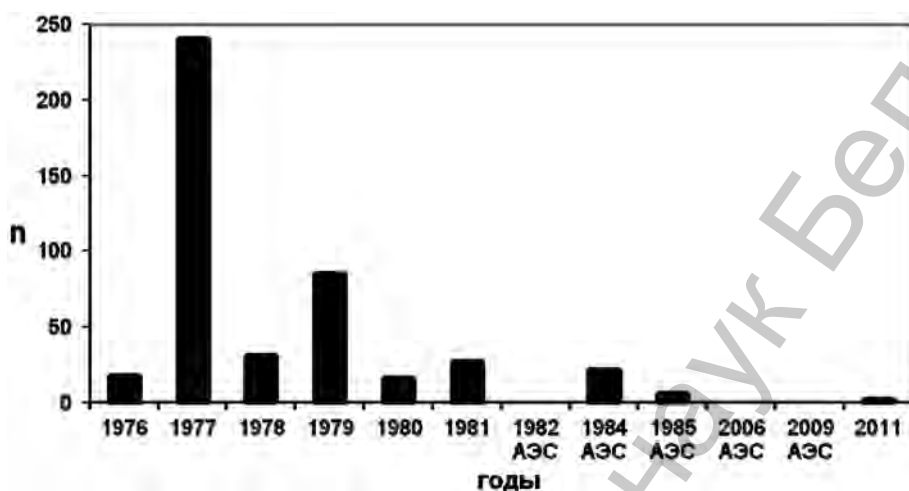


Рис. 2. Изменение средней численности лимнокалянуса (n , экз/м³) в столбе воды глубоководных станций до пуска, в начальный период эксплуатации и после остановки Игналинской АЭС

В озеро впадают 3 реки: Опивардка, Смолвенка и Ричанка и несколько мелких ручьев. Однако в бассейне первых двух рек и ручьев нет озер с реликтовой фауной. Река же Ричанка соединяет оз. Ричи и Дрисвяты. В составе же фауны Ричи есть полный комплекс реликтовых ракообразных (лимнокалянус, понтопорея, палласея и реликтовая мизида).

Особенностью озера и до пуска являлась относительно узкая граница благоприятных условий для выживания этого вида. В самых придонных слоях воды в отдельные годы наблюдалось низкое содержание кислорода, которое могло лимитировать развитие популяции. В более высоких прогреваемых горизонтах его распространение ограничивалось высокой температурой. Поэтому в летнее время лимнокалянус держался в слоях воды 15–25 м при предельной для его выживания температуре 8,6–11,7 °С [15]. По многолетним данным, среднегодовая поверхностная температура в самый теплый месяц (июль) за период с 1974 по 1983 год составила 19,1, а максимальная не поднималась выше 21 °С [12; 16]. В настоящее время в связи с потеплением климата максимальная летняя температура у поверхности может достигать 25 °С, что может косвенно также повлиять на состояние популяции реликта. Механизм этого влияния через ускорение процессов окисления органики и резкое снижение концентрации растворенного кислорода в гипolimнионе проявился в аномально теплое лето 2010 года. На некоторых озерах Беларуси, в частности, на оз. Сита, это привело к резкому снижению численности лимнокалянуса до критических величин [17].

Максимальная же придонная температура до начала работы АЭС была в пределах 8–9 °С. Температурные условия нижних слоев гипolimниона для популяций лимнокалянуса и до пуска АЭС также были несколько повышенными в срав-

нении с другими местообитаниями [1; 9; 16]. В настоящее время по температурным характеристикам гипolimниона озеро пришло к исходному, допусковому периоду (табл. 6). Сравнение многолетних предпусковых значений по содержанию кислорода и полученных после остановки атомной станции показало, что наблюдаемые сейчас показатели на глубоководных станциях литовской акватории, где могут создаваться популяции реликта, фактически совпадают. Это подтверждает возможность заселения их реликтом и создание воспроизводящейся популяции. Мелководные же участки белорусской акватории, как и ранее, непригодны для обитания рачка в летний период и могут служить лишь транзитной территорией при низких значениях температуры воды.

Таблица 6. Изменение содержания кислорода и температуры на глубоководной станции оз. Дрисвяты по многолетним данным в допусковой период и после прекращения работы АЭС

Станция 1	Время	Температура, °С, поверхность/дно	Содержание O ₂ , мг/л, поверхность/дно	% насыщения, поверхность/дно	Источник
До АЭС	июль 1949	19,4/9,6	11,9/0,6	125,9/5,5	[16]
	17.07.1980	17,8/8,6	7,1/2,8	77,2/24,8	Собст. данные
	03.02.1981	0,1/1,8	12,8/2,6	93,1/20,0	Собст. данные
После АЭС	13.07.2011	22,2/6,3	9,1/0,3	105,0/2,6	Собст. данные
	12.07.2012	24,0/6,4	9,2/1,6	109,7/13,3	Собст. данные
	28.07.2014	24,3/6,8	9,3/1,6	108,8/13,5	Собст. данные

Несмотря на это, после регистрации в 2011 г. в летний период 2012 и 2014 гг. лимнокалянус пока нами не был обнаружен. Вероятно в новых условиях часть поступающих животных из оз. Ричи выживают. Но плотность их в озере недостаточна для регистрации обычными гидробиологическими орудиями лова. Кроме того, этот вид может находиться в сезонной диапаузе при неблагоприятных условиях среды обитания [9], что способствует переживанию этим видом таких периодов.

Поэтому при наблюдаемых вариациях основных условий обитания, вначале, вероятно, будут создаваться немногочисленные популяции рачка, которые не всегда можно зарегистрировать имеющимися гидробиологическими методами. Эти популяции будут пополняться поступающими животными из изучаемой водной системы до образования самовоспроизводящейся популяции. Полной ренатурализацией реликта можно считать время, когда он будет регистрироваться ежегодно с плотностью, равной допусковому периоду.

Современное экологическое состояние водоема-донора озера Ричи. В оз. Ричи, которое может служить донорским водоемом, по многолетним данным, температурные и кислородные условия остаются в течение продолжительного периода времени благоприятными для развития популяции лимнокалянуса (табл. 7).

Таблица 7. Изменение содержания кислорода (O_2 , мг/л) и температуры (t , °С) на глубоководной станции оз. Ричи по многолетним данным

Глубина, м	1988		2008		2010		2014	
	t , °С	O_2 , мг/л	t , °С	O_2 , мг/л	t , °С	O_2 , мг/л	t , °С	O_2 , мг/л
0	22,8	9,9	21,5	10,3	25,8	10,1	23,2	9,8
1	22,8	9,9	21,5	9,7	25,8	9,8	23,2	9,8
2	22,8	9,9	21,4	9,5	25,8	9,7	23,2	9,7
3	22,8	9,9	21,3	9,6	25,6	9,6	23,2	9,6
4	22,3	9,8	21,3	10,3	25,4	10,1	22,9	10,0
5	17,2	8,8	21,2	10,8	22,2	10,3	20,3	10,4
6	15,0	8,6	21,1	9,3	19,2	9,4	19,5	9,7
7	11,8	7,6	20,3	9,1	18,2	9,1	17,9	9,2
8	9,7	8,3	18,4	8,8	15,1	8,8	15,4	8,9
9	8,8	8,1	17,6	8,7	13,8	8,7	13,4	8,4
10	8,4	8,0	17,2	8,6	11,4	8,2	10,4	8,2
11	8,3	–	16,8	8,2	10,0	8,0	10,3	8,1
12	8,2	–	16	7,8	9,4	7,6	8,9	7,5
13	8,1	–	13,2	7,4	8,8	7,2	8,2	7,3
14	8,0	–	9,6	7,0	8,4	6,8	7,9	7,1
15	7,9	7,9	8,6	6,8	8,0	6,4	6,9	6,9
16	–	–	7,6	6,7	7,7	6,2	6,8	6,8
17	–	–	7,4	6,7	7,4	6,2	6,5	6,5
18	–	–	7,2	6,4	7,2	5,8	6,4	6,0
19	–	–	7,0	6,3	7,0	5,7	6,3	5,8
20	6,5	7,9	6,8	6,2	6,8	5,5	6,2	5,7
25	6,3	7,7	6,6	5,8	6,4	5,1	6,0	5,2
30	6,0	7,7	6,4	5,5	6,3	5,1	6,0	5,1
35	5,6	7,6	6,2	5,4	6,3	4,9	5,9	5,0
47	5,6	7,0	6,0	5,3	6,3	4,9	5,9	5,0

Низкая температура и высокое содержание кислорода в гипolimнионе в этом озере являются оптимальными для жизнедеятельности и воспроизводства популяции лимнокалянуса. При этом за счет большой глубины и распределения этих параметров по глубинам обитаемые слои начинаются сразу после зоны термоклина, что подтверждается распределением популяции летом в светлое время суток (рис. 3). Вертикальная структура не отличалась от многолетних данных для этого озера, и была скоррелирована с распределением температуры. Популяция располагается на глубине ниже 10 м и избегает слоев воды с температурой выше 10 °С. Максимальная плотность наблюдается на глубине 45–49 м. В этом водоеме весь гипolimнион и даже придонный слой заселен лимнокалянусом.

При обследовании всей акватории летом на станциях с глубиной менее 15 м этих животных не было обнаружено, что подчеркивает стенотермную холодолюбивость этого вида. При такой поверхностной температуре популяция летом держится только центральных глубоководных участков озера и не может встре-

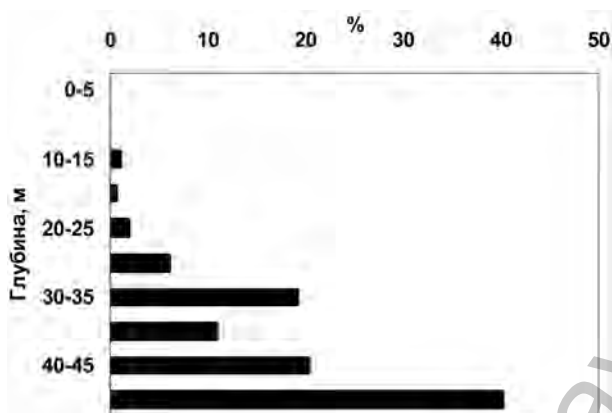


Рис. 3. Дневное вертикальное распределение лимнокалянуса (% от численности в столбе воды) в оз. Ричи летом (июль)

чаться в мелководном предустьевом участке р. Ричанка и тем более перемещаться по ее руслу. Проведенное летом обследование истока этой реки показало, что здесь максимальная глубина составляет только 2–3 м, температура совпадала с поверхностной в озере (23,5 °С), а течение отсутствовало. Таким образом, поступлению животных в русло реки в летнее время ограничивала высокая летняя температура. Для этого вида известны и прямые вертикальные суточные миграции в толще воды, летом в темное время суток популяция способна мигрировать из придонных в более высокие слои воды, но никогда не достигает поверхности и не пересекает изотерму в 10 °С [1; 9]. Исходя из этих сведений и значений поверхностной температуры, изучение суточных вертикальных перемещений нами в это время года не проводилось.

Поздней осенью наблюдения проведены при гомотермии и полном перемешивании водной толщи. Пелагические и прибрежные станции по температуре не отличались. Поверхностная температура воды в наблюдаемый период (11–14 ноября) в озерах была от 5,2 в Дрисвятах, до 5,3 °С – в Ричи. Придонная температура в оз. Дрисвяты не отличалась от поверхностной, а в оз. Ричи разница была незначительной (4,8 °С). При этом в последнем водоеме наблюдалось постоянство температуры до глубины 20 м, а затем шло постепенное ее снижение ко дну только на 0,5 °С, т. е. без выраженного термоклина. Содержание кислорода колебалось в малых пределах и во всей толще воды в обоих озерах было от 9,6 до 9,8 мг/л. В р. Ричанка на всем протяжении вода была холоднее – только 4 °С. Кислородное насыщение было полным, по абсолютным значениям изменялось незначительно от 9,7 до 10,2 мг/л.

Вертикальная структура популяции лимнокалянуса в озере в сравнении с летней изменилась. На рис. 4 представлено распределение этого реликта в течение суток. При этом необходимо отметить, что в связи с коротким световым днем все сборы, за исключением полудня, приходились на темное время суток.

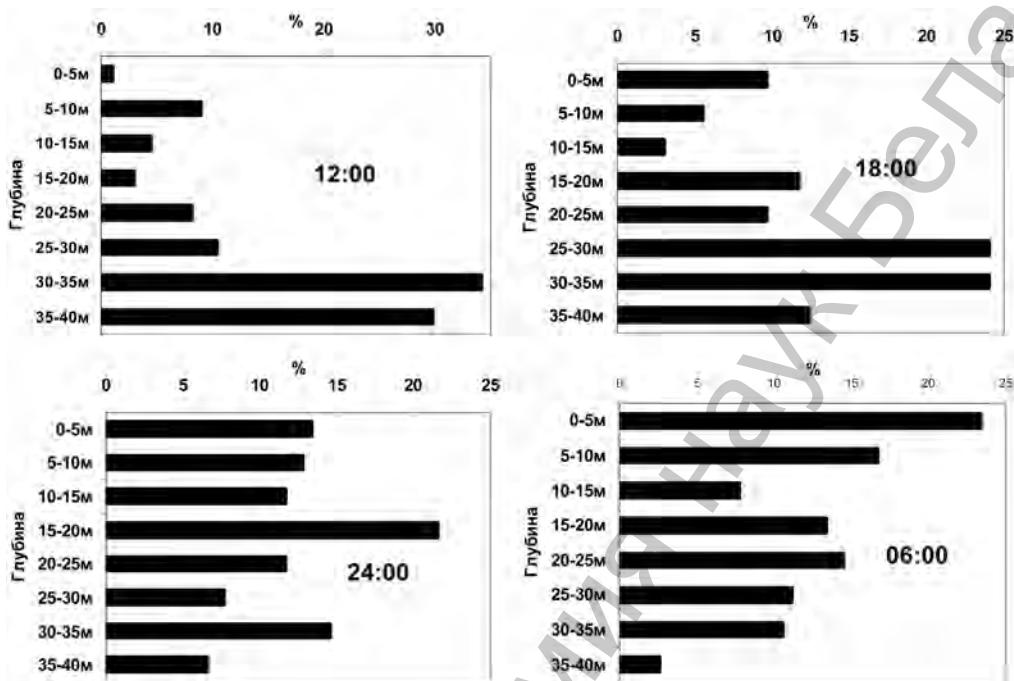


Рис. 4. Изменение вертикального распределения лимнокалянуса в течение суток при осенней гомотермии

Исходя из данных на рис. 4, при гомотермии с температурой около 5°C и полном перемешивании водных масс картина дневного вертикального распределения лимнокалянуса остается такой же, как и при термическом расслоении водной толщи. Основная часть популяции располагается на больших глубинах. В отличие от летнего вертикального размещения, часть рачков находится и в верхних приповерхностных слоях. После снятия фактора температуры как лимитирующего, верхние слои воды заселяются реликтом, но в светлое время суток плотность в этих слоях невысокая. В самом верхнем облавливаемом горизонте (0–5 м) встречается только 1 % популяции, в следующем 9, от 10 до 20 м глубины 4 и 3 % соответственно. Далее плотность возрастает, но до глубины 30 м обитает только 36 % рачков, а остальная часть располагается на глубине ниже 30 м.

В вечерние сумерки (18.00) распределение в толще воды становится более равномерным. Основная часть популяции в сравнении с полуднем перемещается в слой воды 25–35 м. В приповерхностном слое воды уже находится 10 % животных, создавая пик плотности за счет нижележащих слоев. При этом минимум наблюдается на глубинах 10–15 м, а затем идет нарастание численности. В самых глубоких слоях, в отличие от полудня, животных меньше, чем в вышележащих. Другими словами, при сравнении дневного и сумеречного вертикального распределения лимнокалянуса наблюдается перемещение животных в толще воды

из нижележащих слоев в более верхние. При этом эти перемещения происходят приблизительно на 10–15 м.

Картина вертикальной структуры в полночь (24.00) характеризуется еще более равномерным распределением особей по вертикали. Абсолютный максимум плотности перемещается в слой 15–20 м, на 10 м вверх. Выраженных минимумов нет, за исключением придонного. Основная часть популяции находится в слоях воды до 20 м глубины, где сосредотачивается 59 % всех животных.

Еще больше отличается от дневного распределения вертикальная пространственная структура в утренние часы. Фактически наблюдается картина обратная дневному распределению. Максимум с 23 % перемещается в верхние слои воды 0–5 м. С глубиной идет постепенное падение численности до минимальных значений у дна, где абсолютная плотность составляет только 586 экз/м³, а относительная – 2,6 %. В сравнении с поверхностными слоями численность реликта снижается на порядок. Небольшой пик наблюдается на глубине 20–25 м, который, по-видимому, объясняется постепенным возвращением животных из вышележащих слоев (15–20 м).

В целом для этого вида характерны хорошо выраженные вертикальные перемещения в течение суток и в позднее осеннее время. В это время года вода во всем столбе воды имеет одинаковую и низкую температуру и это не ограничивает распределение животных и их перемещение в верхние слои. Летом же лимнокалянус избегал прогреваемого эпилимниона и не встречался в приповерхностных слоях.

Таким образом, при осеннем перемешивании наблюдаются суточные прямые вертикальные миграции, в светлое время суток популяция занимает глубинные слои озера, а в темное перемещается в более мелкие слои воды. В полдень основная часть популяции создает максимум у дна, в утреннее темное время суток – у поверхности. Учитывая особенности этих перемещений, создаются благоприятные условия для поверхностного стока и горизонтальных миграций. При этом возможность их резко возрастает в темное время суток и, особенно, в предутренние часы.

Однако при создавшихся благоприятных условиях для поверхностного стока, в прибрежье и в устье реки Ричанка при температуре 4 °С животные не были обнаружены. Это мы связываем с тем, что несмотря на относительно малые размеры (около 2 мм) в сравнении с нектоном (рыбы), планктонный лимнокалянус является неплохим пловцом и активно уходит из зон с наличием течения. Поэтому прибрежья, где наблюдаются нагонные явления, он избегает. Вероятно, когда появятся младшие стадии развития этого рачка с малыми размерами, они не смогут так активно противостоять течению.

Науплиусов в это время пока в планктоне нет. В популяции лимнокалянуса ко времени осенних наблюдений было около 10 % самок с прикрепленными сперматофорами, что свидетельствует о самом начале размножения этого вида в озере-доноре. По литературным данным, пик спаривания для этого вида в условиях Беларуси припадает на декабрь. Откладка яиц идет всю зиму и первый месяц весны. Животные нового поколения (науплиальные стадии) появляются в ноябре–

декабре и встречаются всю зиму с максимумом в феврале–марте [9]. Только эти стадии будут более подвержены транзиту из материнского водоема в связи с их малыми размерами (0,12–0,5 мм).

Таким образом, экологическое состояние оз. Ричи является благоприятным для развития и устойчивого воспроизведения популяции лимнокалянуса. В течение продолжительного времени наблюдений популяция остается многочисленной. Летом она занимает центральную глубоководную часть озера. В конце осени после осеннего понижения температуры и перемешивания создаются благоприятные условия для перемещения в выше лежащие слои вплоть до поверхности. Нахождение в поверхностных слоях воды предполагает и горизонтальные миграции или перемещения животных с ветровыми нагонными явлениями в исток р. Ричанка. При этом, учитывая расположение начала реки в юго-восточной части озера и существующую розу ветров, процесс распространения с помощью нагонных течений наиболее вероятен.

Экологическое состояние р. Ричанка как транзитного водоема и возможности перемещения лимнокалянуса. Качество воды в этой реке формируется за счет чистых вод оз. Ричи и сохраняется почти на всем протяжении реки. Ледовый покров устанавливается с конца ноября и до середины марта, но не на всем протяжении. Участки с быстрым течением остаются открытыми в течение всего года. Поэтому в водотоке поддерживается высокий уровень содержания кислорода. Источники загрязнения, которые могли бы быть ограничивающим фактором, не обнаружены. Лимитирующим фактором для лимнокалянуса остается только температура воды и ее годовой ход. Конец весны и летний период нами не рассматривается, так как в это время вода прогревается с 10 до 23 °С. Благоприятная температура воды для перемещения (ниже 10°) наблюдается осенью в конце октября, зимой она составляет 0,5–1,0 °С, весной в апреле – 3,5–4,5 °С. В первой декаде мая начинается прогревание – у истока до 10,0 °С, а в устье до 12,0 °С. Исходя из этого, миграции возможны с конца октября по начало мая, т. е. в течение 6 месяцев.

При круглогодичных сборах зоопланктона животные в реке были найдены единично, начиная с конца марта на всех станциях отбора (рис. 1). В апреле наблюдалось максимальное количество перемещающихся животных при плотности у истока 360 экз/м³, в устье оставалось 180 экз/м³. Лимнокалянус в это время был представлен личиночными (науплиальными) стадиями развития, т. е. животными новой генерации. Река протекает через небольшое и мелководное эвтрофное оз. Муйсо, это могло приводить к задержке в нем животных и их гибели. Снижение численности может происходить и под влиянием высокой скорости течения на отдельных участках за счет механического повреждения животных. Менее вероятно потребление их рыбами, так как они имеют малые размеры и немногочисленны в планктоне. Необходимо отметить, что температура воды в это время составляла 1,5–4,5 °С. При повышении температуры в начале мая животные присутствовали только на станции, расположенной у истока из оз. Ричи при плотности в два раза ниже (180 экз/м³) и температуре 10,2 °С, а в устье при более высокой температуре

в 12,0 °С лимнокалянус уже не был найден. Единично в майских сборах присутствовали копеподиты первых двух возрастов. При обследовании реки в конце октября при такой же температуре как в мае и в ноябре эти животные в планктоне реки не были обнаружены. Это свидетельствует о том, что взрослые животные прежней генерации не перемещаются в русло реки.

На основании этого можно предположить, что в зимний и ранне-весенний период имеет место дрейф реликтовой фауны (лимнокалянуса) из оз. Ричи в Дрисвяты по р. Ричанка. При этом должны создаться условия для этого перемещения: низкая температура воды, горизонтальный перенос или миграция внутри водоема-донора и достаточно высокая плотность животных, которая возрастает только в марте на пике развития новой генерации.

Несмотря на вышесказанное, исходя из современных условий, создающихся на глубоководных станциях, основных потенциальных местообитаний, популяция лимнокалянуса только на начальной стадии восстановления. По нашему мнению, воспроизводимой популяции в озере нет, пока мы обнаруживаем выживших в незначительном количестве животных, поступающих в оз. Дрисвяты из соседнего оз. Ричи по реке Ричанка. Дополнительным подтверждением такого предположения могут быть фактически совпадающие размеры взрослых особей из оз. Дрисвяты и Ричи. Так, взрослые животные, выловленные в оз. Дрисвяты, имели длину тела 1,89 мм, а из Ричи – 1,84 мм. До пуска популяция лимнокалянуса состояла из животных меньших размеров: длина тела самцов составляла 1,63, а самок – 1,66 мм.

Заключение. Таким образом, на основании полученных данных показана принципиальная возможность восстановления реликтовой фауны благодаря речному стоку в холодное время года из близлежащих донорских водоемов с реликтами. Исследование популяции наиболее вероятного мигранта из реликтовых ракообразных – лимнокалянуса на примере изученной водной системы раскрыло механизм этого явления. По круглогодичным наблюдениям процесс перемещения популяции возможен при понижении температуры в озерах и соединяющей их реке до 10 °С. Благоприятный температурный режим для миграции в этой водной системе начинается с конца осени и продолжается до начала весеннего прогрева воды (ноябрь–апрель). Миграции с речным стоком в составе дрейфа подвержены младшие стадии развития, массовое появление которых наблюдается в марте–апреле.

Такого типа естественная реинтродукция возможна и для других видов реликтов. Восстановление утраченных популяций реликтов актуально и также для других озерных экосистем (в частности, Браславской). В природоохранном плане необходимо особо обратить внимание на донорские водоемы со стабильными и воспроизводимыми популяциями реликтов, которые являются своеобразным ядром распространения этих видов на данной территории или озерной системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б14МС-008).

Литература

1. Суценыя Л. М., Семенченко В. П., Вежновец В. В. Биология и продукция ледниковых реликтовых ракообразных. Минск: Навука і тэхніка, 1986. – 160 с.
2. Блакітная кніга Беларусі: Энцыкл. Минск: БелЭн, 1994. – 415 с.
3. Озера Белоруссии. Минск: Ураджай, 1988. – 216 с.
4. Петрович П. Г. // Ученые записки БГУ им. Ленина. Сер. биол. 1954. Вып. 17. С. 38–71.
5. Драко М. М. // Ученые записки БГУ им. Ленина. Сер. биол. 1954. Вып. 17. С. 157–160.
6. Черемисова К. А. // Вопр. рыбного хозяйства Белоруссии (Тр. Белорусского НИИ рыбного хозяйства. Т. 5). М., 1964. С. 83–94.
7. Вежновец В. В., Семенченко В. П. // Тезисы XIX науч. конф. по изучению и освоению водоемов Прибалтики и Белоруссии. Минск, 1977. С. 20–21.
8. Гаурилов С. И., Петрович П. Г., Калечиц В. А. и др. // Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии: Тезисы докл. XX научн. конф. Рига, 1979. Т. 2. С. 5–8.
9. Вежновец В. В. Биология реликтового рачка *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* и его продукционно-энергетическая характеристика: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Минск, 1984. – 24 с.
10. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений. Минск: БелЭН, 2005. – 456 с.
11. Bowkiewicz J. // Fragm. Faun. Mus. Zool. Pol. 1937. Vol. 3. P. 27–32.
12. Буникис А. А., Салицкайте Л. П., Тараускайте В. В. // Состояние гидробиоценозов водохранилища-охладителя Игналинской АЭС в предпусковой период. Вильнюс: «Моклас», 1987. С. 9–19.
13. Вежновец В. В. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы III Междунар. науч. конф., 17–22 сент. 2007 г., Минск-Нарочь / БГУ. Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. С. 206–207.
14. Вежновец В. В. // Экологические системы: фундаментальные и прикладные исследования. Ч. 1. Сборник материалов II Всероссийской науч.-практ. конф., 24–27 марта 2008 г. / Нижнетагильская гос. соц.-пед. акад. Нижний Тагил, 2008. С. 52–57.
15. Найняйте О. И. // Базовое состояние популяций и сообществ водных животных в озере Друшай. Вильнюс: «Моклас», 1986. С. 33–39.
16. Цыганков И. В. // Тр. белорусского отд. ВНИОРХ. 1957. Т. 1. С. 44–56.
17. Вежновец В. В., Семенченко В. П. // Доклады НАН Беларуси. 2011. Т. 55, № 5. С. 72–75.

V. V. VEZHNAVETS, ARTŪRS ŠKUTE

THE NATURAL RECOVERY POSSIBILITIES OF THE RELICT CRUSTACEAN LOST POPULATIONS IN THE CASE OF THE FORMER COOLER RESERVOIR AT NUCLEAR POWER PLANT

Summary

The natural recovery perspective of the relicts lost populations in a cooler reservoir of the Ignalina Nuclear Power Plant – the lake Drisvjaty which had been exposing to thermal pollution within 25 years (since 1984 to 2009) is considered. Findings of relict species in the lake and in the one of its inflows are established. The restoration basic possibility of relict fauna by means of their receipt with river water from the donor reservoir (the lake Richi) is shown. The studying of population of the most probable migrant from relict Crustacea – *Limnocalanus macrurus* – has shown the possibility of this phenomenon at the temperature lowering in these lakes and in the river connecting its to 10 °C. Terms of the migrations (March–April) coinciding with the intensive mass receipt of new generation juveniles are defined. The younger stages of *Limnocalanus* undergo migrations by means of the river flow in a compound of drift. The established mechanism of the natural renaturalization is possible also for other relict species and for other aquatic ecosystems of Belarus which were inhabited by relicts earlier.

УДК 616.895.8:364-112]:575.1

А. Н. НЕСТЕРОВИЧ

**СИНДРОМ ДЕЗОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ШИЗОФРЕНИИ:
ВКЛАД СРЕДОВЫХ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ***Республиканский научно-практический центр психического здоровья**(Поступила в редакцию 14.08.2015)*

В статье представлены результаты клинико-генетического исследования, в котором анализировалась роль генетических факторов (полиморфизм генов систем нейротрансмиссии, клеточной детоксификации, воспалительного ответа организма, метилирования ДНК) и средовых факторов (уровень урбанизации, психотравмирующие события в детстве/юношестве, воспитание в неполной семье и др.) в формировании синдрома дезорганизации при шизофрении, включающем нарушения поведения и мышления. Показана важная роль эпигенетических факторов в развитии симптомов дезорганизации, в частности, генетически детерминированного гипометилирования ДНК, что необходимо учитывать при разработке дифференцированного подхода к лечению пациентов с выраженными расстройствами поведения и мышления.

Введение. Феномен дезорганизации при шизофрении известен еще со времен первых описаний заболевания в трудах основоположников психиатрии Э. Блейлера и Э. Крепелина, однако приобрел статус самостоятельной клинической размерности только в начале XXI в. благодаря созданию «дименсиональной модели» шизофрении, основанной на факторном анализе симптомов заболевания. В 2005 г. экспертами ВОЗ регламентирована трехосевая дименсиональная модель шизофрении, основанная на концепции П. Лиддла [1], выделившая дезорганизацию в качестве одной из трех независимых клинических дименсий (англ. *dimension* – размерность), наряду с позитивными симптомами (бред, галлюцинации) и негативными симптомами (аффективное уплощение, абулия-апатия, бедность речи, ангедония-асоциальность) [2]. В данной модели дезорганизация включала странное/агрессивное поведение и так называемые позитивные формальные расстройства мышления: смысловые соскальзывания (пациент «перескакивает» с одной темы на другую), ответы по касательной (т. е. не по существу), разорванность мышления (фразы и предложения утрачивают смысловую связь и последовательность, становятся аграмматичными), паралогичность (рассуждения лишены логики, выводы не следуют из рассуждений), обстоятельность, речевой напор, отвлекаемость, ассоциации по созвучию, при которых пациент выбирает слова, основываясь в большей степени на их звучании, чем на семантической необходи-

мости (например, рифмует фразы, использует устойчивые обороты и слова из песен, каламбуры и т. д.). Данные нарушения противопоставлялись «негативным формальным расстройствам мышления» (алогия), для которых характерна бедность речевой продукции по объему, общая адинамичность, ограниченность словесных выражений, задержка ответов [3].

Социальная значимость проблемы дезорганизации при шизофрении обусловлена высоким уровнем правонарушений среди категории лиц с выраженными расстройствами поведения и мышления, частыми случаями их принудительной госпитализации и лечения, диспропорционально высоким потреблением ими государственных ресурсов, связанных с судебно-юридическими издержками, затратами на диагностическую экспертизу, лечение, охрану и содержание, особенно неблагоприятными социальными и семейными отношениями, складывающимися в их окружении. Явления дезорганизации «маскируют» позитивные психотические симптомы и снижают продуктивность контакта врача с пациентом, что в свою очередь препятствует установлению терапевтических отношений и приводит к низкой комплаентности. Имеются данные о том, что дезорганизация коррелирует с более низким уровнем качества жизни самого пациента [4]. Многие исследователи отмечают, что наличие симптомов дезорганизации является фактором риска более тяжелого течения шизофрении [5–7], а в некоторых работах показано, что дезорганизация является более сильным предиктором социального функционирования при шизофрении, чем психотические симптомы [8; 9].

Очевидна необходимость дифференцированного подхода к лечению и профилактике выраженных расстройств мышления и поведения при шизофрении как независимой психопатологической размерности, однако разработка соответствующих рекомендаций должна базироваться на научно обоснованных предпосылках, включающих данные о патогенетических особенностях дезорганизации, возможных терапевтических мишенях и модифицируемых факторах риска. Тем не менее, анализ публикаций позволяет констатировать дефицит соответствующей информации [10].

Дезорганизация остается наименее изученной из трех психопатологических дименсий шизофрении. Агрессивное поведение, представляющее собой одну из наиболее социально значимых ее составляющих, широко изучалось в 1980–1990-х годах как отечественными, так и зарубежными исследователями, при этом решающая роль в совершении пациентами общественно опасных действий отводилась влиянию длительно действующих неблагоприятных средовых и микросоциальных факторов, таких как воспитание в неполной семье, безнадзорность, антисоциальная атмосфера семьи, незавершенность образования и др. [11]. Таким образом, данный фенотип шизофрении рассматривался как следствие социальной «запущенности» и патоморфоза заболевания, происходящего под влиянием криминогенной среды, вне жесткой связи с биологическими предикторами.

Регламентация трехосевой дименсиональной модели шизофрении стимулировала развитие противоположного, биологического подхода к объяснению при-

роды дезорганизации и повлекла за собой целую волну научных исследований (преимущественно в западных странах), направленных на поиск специфических для данной дименсии эндофенотипов и генетических маркеров. Для этой цели использовались методы нейровизуализации, нейрокогнитивной диагностики, анализа полиморфизма генов и др. Тем не менее, обширный массив накопленных эмпирических данных лишь незначительно приблизил исследователей к пониманию феномена дезорганизации и оставляет больше вопросов, чем ответов. Данные клинико-биологических исследований отличаются низкой воспроизводимостью и не консолидированы в рамках единой теории. Результаты клинико-генетических исследований шизофрении в семьях свидетельствуют о высокой степени наследуемости дезорганизации, по сравнению с остальными дименсиями [12; 13]; однако идентифицировать конкретные генетические маркеры удалось лишь в работе [14], полиморфизм гена рецептора дофамина DRD2 Ser/Cys311 в работе [15].

Морфофизиологические аномалии, ассоциированные с дезорганизацией, не ограничены одной анатомической областью, а обнаруживаются в различных структурах головного мозга, включая височную, лобную, теменную области коры, угловую извилину, поясную извилину, мозолистое тело и мозжечок. Соответствующие когнитивные аномалии также вовлекают широкий спектр дисфункций, включая внимание, моторные функции, общий интеллект, зрительно-пространственную рабочую память, способность «тормозить» реакции на отвлекающие стимулы, делать правильные умозаключения, использовать «негативный» опыт совершенных ошибок и пр. [10].

В последние десятилетия подход к изучению дезорганизации изменился: от поиска элементарных нейроанатомических/когнитивных аномалий переходят к разработке интегративных моделей, позволяющих объяснить искажения наиболее сложных психических процессов, являющихся результатом совместной координированной деятельности нескольких областей центральной нервной системы (ЦНС). Примером является дефицит так называемой модели психического (англ. *theory of mind*), который выражается при дезорганизации в неспособности понимать психическое состояние других людей, в т. ч. их намерения, желания, выражаемые ими намеки или иронию. Данная функция относится к так называемому социальному интеллекту и возможна благодаря интегрированной деятельности «зеркальных»¹ нейронов лобной, височной и теменной областей коры [16].

Предложена модель, согласно которой в основе дезорганизации лежит дефицит интеграции контекстуальной информации, т. е. неспособность учитывать ситуационный контекст при выборе конкретного способа поведения [17]. Согласно другой гипотезе, дезорганизация объясняется дефицитом «перцептуальной орга-

¹ «Зеркальные» нейроны активируются не только во время совершения действия самим субъектом, но и во время наблюдения за тем, как иной субъект выполняет то же действие.

низации», т. е. способности интегрировать отдельные сенсорные стимулы различных модальностей в смыслообразующие паттерны, группы, объекты [18]. Альтернативной является модель долговременной семантической памяти, в которой отдельные мыслительные концепты представлены в виде «узлов» в нейронной сети, соединенных смысловыми ассоциациями [19; 20]. Предполагается, что при дезорганизации происходит более «широкое» распространение активации на слабо связанные между собой, либо удаленные «узлы» [21].

Авторы [22] полагают, что в основе дезорганизации при шизофрении лежит общий дефицит анатомической коннективности между различными областями головного мозга. Данный феномен объясняется нарушением координации электрической активности нейронов, относящихся к дорсолатеральной префронтальной коре [23]. Исследователи [24] также отводят ключевую роль в возникновении дезорганизации асинхронности в функционировании нейрональных сетей головного мозга и объясняют это задержкой возникновения потенциала действия.

Как видно, доминирующим в современной биологической психиатрии является представление о дезорганизации как о функциональной дезинтеграции высокоспециализированных структур головного мозга, неспособности «координировать» и «синхронизировать» активность нейрональных сетей в процессе выполнения целенаправленной деятельности, в том числе речевой. Контроль над координацией активности клеток головного мозга осуществляется с помощью так называемых эпигенетических² модификаций ДНК, регулирующих уровень экспрессии гена, наиболее стабильной из которых является метилирование. Присоединение метильной группы к цитозину в составе CpG-динуклеотида нити ДНК с помощью ферментов метилтрансфераз приводит к локальной конденсации хроматина вокруг генного промотора и препятствует транскрипции гена. Возрастающий интерес к метилированию ДНК в психиатрии объясняется тем, что данный механизм является основным посредником в системе взаимодействия ген–окружающая среда и чувствителен к изменениям гормонального окружения клетки и активности афферентной импульсации [25]. Аномалии глобального и локального метилирования ДНК при шизофрении подтверждаются в многочисленных исследованиях [26; 27].

Как видно, изучение природы дезорганизации невозможно в отрыве от социального, биологического и эпигенетического контекста. Все три перечисленных подхода имеют под собой теоретическое обоснование и подкреплены результатами эмпирических исследований. Именно эпигенетический подход (в широком смысле) представляется наиболее перспективным в исследовании синдрома дезорганизации, так как он позволяет анализировать фенотип как результат соче-

² Эпигенетика (греч. *επι* – над, выше – генетический) изучает модифицирующее влияние факторов окружающей среды на реализацию исходного генетического материала клетки. В широком смысле слова эпигенетическим можно считать любое воздействие среды на организм, в узком смысле слова под эпигенетическими процессами понимают молекулярные механизмы регуляции генной экспрессии.

танного действия множества средовых и генетических факторов и избежать крайностей – так называемых психологизации и биологизации в объяснении этого сложного феномена. Более того, он предоставляет концептуальную основу для интерпретации генно-средовых взаимодействий на уровне регуляции генной экспрессии.

Цель работы – установить вклад средовых и генетических факторов в формирование дименсии дезорганизации на этапе клинического исхода шизофрении.

Материалы и методы исследования. Клинически обследовано 336 пациентов (174 женщины и 162 мужчины) с верифицированным диагнозом «шизофрения», установленным в соответствии с критериями МКБ-10, проходивших курс лечения в РНПЦ психического здоровья. Участие пациентов в исследовании одобрено этической комиссией при РНПЦ психического здоровья, все обследуемые дали соответствующее письменное информированное согласие. Изучение особенностей клинической картины заболевания решено проводить на этапе «клинического исхода» шизофрении, который, согласно современным представлениям, наступает через 12–15 лет после первичной манифестации психотических симптомов [28].

При формировании исследовательской выборки производилась стратификация по факторам возраста пациентов (18–65 лет), длительности заболевания (более 12 лет), приверженности медикаментозной терапии (нерегулярный прием нейролептиков 1–3 недели, предшествующие госпитализации, и в более отдаленном анамнезе), отсутствия сопутствующих психических и неврологических расстройств (кроме злоупотребления никотином), отсутствия обострения соматического заболевания.

Дизайн исследования – клиничко-генетическое, обсервационно-аналитическое, поперечное; при сборе анамнестических сведений использовался ретроспективный метод.

Для оценки выраженности симптомов шизофрении использовались шкала для оценки негативных симптомов (SANS, the Scale for the Assessment of Negative Symptoms) и шкала для оценки позитивных симптомов (SAPS, the Scale for the Assessment of Positive Symptoms). Каждый из 48 признаков заболевания оценивался по 6-балльной шкале от 0 до 5 баллов. Симптом «нарушение внимания» оценивался отдельно с помощью нейрокогнитивных тестов, его балл не учитывался при статистических расчетах. Выраженность каждого из 8 симптомов шизофрении оценивалась с помощью суммарного балла (сумма всех входящих в симптом признаков) и глобального балла от 0 до 5 (на основании общего клинического впечатления). Каждая дименсия шизофрении оценивалась с помощью суммы глобальных баллов входящих в нее симптомов (психотизм = галлюцинации + бред, дезорганизация = формальные расстройства мышления + нарушения поведения, негативные симптомы = аффективное уплощение + алогия + апатия-абулия + ангедония-асоциальность). В зависимости от количественной оценки каждого из признаков симптомов «нарушения поведения» и «формальные рас-

стройства мышления» все пациенты были разделены на две группы – с невыраженной дезорганизацией (0–2 балла) и с выраженной (3–5 баллов).

Пациенты были обследованы в период очередного манифестного эпизода шизофрении («обострения»); психотическая продукция оценивалась в «худшем» состоянии пациента, т. е. по максимальным проявлениям на момент поступления в клинику (из направления, данных первичного осмотра, со слов пациента и его родственников). Аналогично, расстройства мышления оценивались в первые дни госпитализации. Негативные симптомы оценивались после стабилизации психического состояния пациента, главным критерием которой являлась относительная редукция симптоматики, препятствующей продуктивному контакту с ним (интенсивные галлюцинации, психомоторное возбуждение). Симптомы «апатия-абулия», «ангедония-асоциальность», странное и агрессивное поведение оценивались с учетом анамнестических данных (ретроспективно) (со слов пациента и его родственников, из медицинской документации). Для минимизации влияния поддерживающей терапии нейролептиками на течение и патоморфоз заболевания, обследовались пациенты, которые не соблюдали в домашних условиях предписанный им режим поддерживающей антипсихотической терапии; данная информация уточнялась со слов родственников пациентов и их ближайшего окружения, из медицинской документации (в том числе направления в стационар).

Производилась регистрация анамнестических данных пациента: возраст начала заболевания, частота госпитализаций в психиатрический стационар, уровень образования ($n = 327$), социальный статус родителей ($n = 188$), воспитание в полной/неполной семье ($n = 204$), значительные психотравмирующие жизненные ситуации в детстве и юношеском возрасте (смерть близкого, тяжелые болезни и травмы, конфликты в семье, развод родителей, эпизоды физического/сексуального насилия и другие субъективно значимые для пациента события) ($n = 204$), уровень урбанизации в местности, в которой большую часть времени проживал пациент ($n = 326$), перенесенные черепно-мозговые травмы (ЧМТ) ($n = 287$), длительное (в течение 10 лет и более) систематическое употребление никотина ($n = 231$). Социальный статус родителей оценивался как низкий (среднее образование, либо отсутствие такового + работа на низкоквалифицированных должностях), высокий (высшее/среднеспециальное образование + работа на руководящих должностях) и средний (все промежуточные случаи). Анамнестические данные уточнялись со слов родственников пациентов.

У всех обследуемых производился забор венозной крови в количестве 1–2 мл на целлюлозный носитель. Полиморфизм генов определялся в лаборатории нехромосомной наследственности Института генетики и цитологии НАН Беларуси путем полимеразной цепной реакции. В контексте размерной модели решено исследовать полиморфизм нескольких функционально различных групп генов – нейротрансмиссии, воспалительного ответа, клеточной детоксификации и метилирования ДНК. Выбор соответствующих генов обусловлен хорошо известными теориями шизофрении, отводящими ключевую роль в патогенезе за-

болевания аномалиям дофаминергической и серотонинергической нейротрансмиссии [29], несовершенству системы клеточной детоксификации, связанной с глутатионом [30] и индукции провоспалительных реакций в тканях [31]. Среди генов системы нейротрансмиссии выбран ген *COMT* (rs4690), кодирующий одноименный фермент деградации дофамина в префронтальной коре *Catechol-O-methyltransferase* (аллель Val в 4 раза активнее аллеля Met [32]), ген переносчика серотонина *SLC6A4* (5-HTTLPR), регулирующий обратный захват медиатора в синаптической щели («длинный» аллель L связан с более высокой активностью фермента [33]), и ген рецептора дофамина второго типа *DRD2* (rs1800497) (а-аллель связан со сниженным числом сайтов связывания дофамина [34]). Среди генов воспалительного ответа организма выбраны ген *IL* (rs 1800795), кодирующий синтез провоспалительного медиатора интерлейкина-6 (аллель g ассоциирован с большим синтезом медиатора [35]), а также *TNF* (-308G/A), кодирующий фактор некроза опухолей α (A-аллель связан с большей активностью синтеза TNF [36]). Исследован полиморфизм генов клеточной детоксификации *GSTM1*, *GSTT1* (наличие протяженной делеции гена, ассоциированной с полным отсутствием синтеза белкового продукта («нулевой» аллель – генотип 0/0), участвующих в защите нейронов головного мозга от окислительного стресса, а также гены системы метилирования ДНК, кодирующие метилтрансферазы DNMT3b, DNMT1 и фермент однокарбонового цикла МТНФР. Остановимся кратко на ключевых характеристиках генов системы метилирования ДНК как наименее изученных при шизофрении.

Метилтрансфераза 3b (DNMT3b) осуществляет метилирование ДНК *de novo*, «работает» преимущественно в сателлитных повторах, активно экспрессируется на ранних этапах эмбриогенеза в нейронах и олигодендроцитах [37]. Ген *DNMT3b* локализован на хромосоме 20q11.2, однонуклеотидная замена C → T (149C>T) в локусе rs2424913 связана с увеличением промоторной активности гена примерно на 30 % [38]. Частота аллеля T в европейской популяции составляет 41 % [39].

Метилтрансфераза 1 (DNMT1) обеспечивает «поддерживающее» метилирование в процессе репликации ДНК как на ранних этапах онтогенеза, так и у взрослой особи. Полагают, что данный фермент также способен осуществлять метилирование *de novo* [40]. Повышение экспрессии энзима приводит к повышению метилирования CpG островков в человеческом геноме [41]. Ген *DNMT1* локализован на хромосоме 19p13.3-p13.2; полиморфный локус rs2228612 (+32204GG, A201G) локализуется в экзоне; сочетание аллелей GG проявило связь со значительным снижением глобального уровня метилирования ДНК, по сравнению с сочетанием аллелей AA [42]. Для данного полиморфизма описаны альтернативные аминокислотные замены (A/C/G/T), при этом известная частота минорного аллеля (C) составляет около 6 % в европейской популяции и 18 % во всем мире [39].

Метилтетрагидрофолатредуктаза (МТНФР, *methylenetetrahydrofolate reductase*) является ключевым ферментом однокарбонового цикла, в котором синтезируется метионин и SAM (S-adenosyl-L-methyonine) – основной донор метильных

групп для всех реакций метилирования ДНК. С помощью кофактора В2 энзим катализирует превращение 5,10-метилтетрагидрофолата в 5-метилтетрагидрофолат, необходимый для конверсии гомоцистеина в метионин. Ген MTHFR расположен на коротком плече первой хромосомы (1p36.3); показано, что энзиматическая активность фермента MTHFR у гетерозигот С/Т (локус rs1801133) снижена до 65 %, а у гомозигот Т/Т – до 30 % от обычного уровня [43]. Генетически детерминированное снижение синтеза метионина в однокарбовоном цикле закономерно приводит к недостатку глобального метилирования ДНК [44]. Распространенность аллеля Т среди популяции русских составляет 32 % [43].

В зависимости от генотипа по исследуемым генам, каждый пациент был отнесен к одной из двух групп, отличавшихся наличием минорного аллеля. Так, применительно к генам *DNMT3b* и *MTHFR* выделялись гомозиготы СС и «носители» аллеля Т (гетерозиготы СТ + гомозиготы ТТ). Применительно к гену *DNMT1* сравнивались носители генотипов АА и АG, применительно к генам *GSTT1*, *GSTM1* – носители генотипа 0/0 с остальной частью выборки.

Дополнительно анализировались семейная отягощенность психозами и сочетания аллелей генов системы метилирования ДНК, комбинируемые на основании общего для них ожидаемого эпигенетического эффекта: так, сочетание аллеля С гена *MTHFR* (высокая активность синтеза метионина в однокарбовоном цикле), аллеля Т гена *DNMT3b* (высокая активность метилтрансферазы) и генотипа АА гена *DNMT1* (высокая активность метилтрансферазы) предрасполагают к гиперметилированию; сочетание аллеля Т гена *MTHFR* (низкая активность синтеза метионина в однокарбовоном цикле) и аллеля С гена *DNMT3b* (относительно низкая активность метилтрансферазы) предрасполагают к гипометилированию. В последнем случае (гипометилирование) наличие генотипа АG по гену *DNMT1* (низкая активность метилтрансферазы) не учитывалось из-за малого количества соответствующих случаев (всего 14 гетерозигот).

Для статистической обработки данных применялась программа Statistical Package for the Social Science (SPSS'13). Использовались таблицы сопряженности с χ -квадратом Пирсона (Pearson χ^2) и мультивариантный дисперсионный анализ, в котором в качестве зависимой переменной (у) выступала выраженность каждой из трех дименсий шизофрении, описываемая через сумму глобальных баллов соответствующих симптомов, а также выраженность каждого признака дезорганизации от 0 до 5 баллов. В качестве независимых переменных (x_1, x_2, x_3) выступали генетические и средовые факторы (в формате «нет»–«есть»). Для расчета коэффициента w Коэна (Cohen's w), показывающего силу связи между переменными (размер эффекта), отношений шансов (odds ratio, OR) и соответствующих доверительных интервалов (confidence interval, CI) использовалась статистическая программа WinPepi version 3.46 (Copyright J. H. Abramson, 2003–2015).

Результаты и их обсуждение. Исследуемая выборка включала 174 женщины и 162 мужчины. Средний возраст пациентов составил $43 \pm 10,5$ года, средний воз-

раст начала заболевания – $24 \pm 7,6$ года; в среднем пациенты госпитализировались в психиатрический стационар $14,6 \pm 11,5$ раз (от 2 до 97 раз).

Результаты генотипирования пациентов по всем изучаемым генам представлены в табл. 1.

Семейная отягощенность психозами отмечалась в трети случаев (34,4 %), в том числе среди родственников первой линии родства у 19,3 % пациентов. Семейная отягощенность психическими расстройствами непсихотического спектра составила 12,2 % в исследуемой выборке.

Более половины обследуемых (60,4 %) проживали в крупном городе (Минск). Около трети воспитывались в неполной семье (28,4 %) и около половины (48 %) сообщали о значимых психотравмирующих ситуациях в детстве и юношеском возрасте, произошедших до дебюта шизофрении. При этом сами пациенты, а также их родственники часто расценивали данное событие как причину либо провоцирующий фактор развития заболевания. Чаще всего сообщалось о тяжелом разводе родителей, конфликтах в семье и физическом насилии. Около трети пациентов имели ЧМТ в анамнезе (32,1 %) и 16 человек (5,7 %) сообщали о многократных травмах головы с кратковременной потерей сознания. Около трети обследуемых лиц описывали социальный статус родителей как низкий (27,1 %), высокий статус родителей отмечали 34,6 % пациентов. Более половины участников исследования (55,4 %) систематически и длительно курили. Высшее образование получили 27,4 % опрошенных.

Многомерный дисперсионный анализ проводился в два этапа: на первом этапе анализировались все три психопатологические дименсии шизофрении. При этом для каждой из клинических размерностей введена зависимая переменная глоб (соответственно, позитивных симптомов – глобП, негативных симптомов – глобН и дезорганизации – глобД), характеризующая выраженность дименсии по сумме глобальных баллов соответствующих симптомов. Набор независимых переменных x_1, x_2, \dots, x_m сформирован из средовых и генетических факторов (табл. 2). На втором этапе анализ осуществлялся для каждого из 12 признаков, относящихся к дименсии дезорганизации. Каждая зависимая переменная (признак) характеризовалась значением от 0 до 5. Набор независимых переменных x_1, x_2, \dots, x_m оставался тем же.

Результаты многомерного дисперсионного анализа, проведенного в отношении трех дименсий шизофрении (табл. 3), показали, что статистически значимый вклад в формирование дименсии дезорганизации вносит лишь один из исследованных генов: аллель Т гена *MTHFR* выступает в качестве фактора риска. Кроме того, уникальным фактором риска в отношении дезорганизации оказалось гипометилирование ДНК (гипоМ). Среди средовых факторов низкий уровень образования и высокий уровень урбанизации проявили статистически значимый вклад в развитие синдрома дезорганизации, однако последний фактор также повышал риск развития дименсии негативных симптомов.

Таблица 1. Распределение генотипов изучаемых генов в исследуемой выборке (%)

Ген	COMT	DRD2	HTTL	IL	TNF	GSTM	GSTT	DNMT3b	DNMT1	MTHFR								
Val/Val	24,8	AA	57	39,8	gg	34,9	GG	76,7	норма	83,6	норма	CC	30,3	AA	90,7	CC	47,2	
Val/Met	45,9	Aa	40,1	sl	48,5	gc	55,8	ga	21,7	0/0	52,7	0/0	CT	49,1	AG	9,3	CT	43,4
Met/Met	29,3	aa	2,8	ss	11,7	cc	9,3	AA	1,7	-	-	-	TT	20,5	GG	0	TT	9,4
n	290	142	103	43	60	165	165	234	151	286								

Таблица 2. Описание и обозначение независимых переменных, используемых в многомерном дисперсионном анализе

Генетические факторы		Средовые факторы	
Обозначение переменной	Описание переменной	Обозначение переменной	Описание переменной
comt	Генотип COMT (0 – ll, 1 – hl + hh)	урбан	Уровень урбанизации (0 – низкий, средний, 1 – высокий (крупный город))
drd2	Генотип DRD2 (0 – AA, 1 – Aa + aa)	образ	Уровень образования (0 – средний, высокий, 1 – низкий (менее 9 лет, либо отсутствие образования))
httl	Генотип 5-HTTLPR (0 – ss, 1 – sl + ll)	ЧМТ	ЧМТ в анамнезе (0 – не было, 1 – отмечались)
il	Генотип IL (0 – gg, 1 – gc + cc)	соц_p	Социальный статус родителей (0 – средний или высокий, 1 – низкий)
tnf	Генотип TNF (0 – gg, 1 – ga + aa)	соц_m	Социальный статус матери (0 – средний или высокий, 1 – низкий)
gstm	Генотип GSTM1 (0 – норма, 1 – генотип 0/0)	соц_o	Социальный статус отца (0 – средний или высокий, 1 – низкий)
gstt	Генотип GSTT1 (0 – норма, 1 – генотип 0/0)	неполн	Воспитание в неполной семье (0 – полная семья, 1 – неполная семья)
dnmt3b	Генотип DNMT3b (0 – CC, 1 – CT + TT)	травм	Психотравмирующие ситуации в детстве (0 – не было, 1 – отмечались)
dnmt1	Генотип DNMT1 (0 – AA, 1 – AG)	никот	Систематическое (ежедневное) и длительное (более 10 лет) употребление никотина (0 – нет, 1 – да)
mthfr	Генотип MTHFR (0 – CC, 1 – CT + TT)		
психот	Наследственная отягощенность психозами (0 – нет, 1 – есть)		

непсихот	Наследственная отягощенность психотических заболеваниями (0 – нет, 1 – есть)		
ГиперМ	Гиперметилирование (0 – нет, 1 – есть: MTHFR C аллель + DNMT3b T аллель + DNMT1 AA генотип)		
ГипоМ	Гипометилирование (0 – нет, 1 – есть: MTHFR T аллель + DNMT3b C аллель)		

Т а б л и ц а 3. Вклад генетических и средовых факторов в формирование различных психопатологических(dimенсий) шизофрении по результатам многомерного дисперсионного анализа (F-критерий и мощность (Power)) (показаны лишь статистически достоверные связи, где $p < 0,05$)

Дименсии шизофрении (F-критерий)	Генетические факторы					Средовые факторы			
	dnmt1 (фактор риска)	mthfr (фактор риска)	il (фактор риска)	психот (фактор риска)	гипоМ (фактор риска)	урбан (фактор риска)	образ (фактор риска)	неполн (фактор риска)	
глобП	F = 7,063** Power = 0,752	–	F = 5,410* Power = 0,622	F = 6,491* Power = 0,719	–	–	–	F = 4,072* Power = 0,519	
глобД	–	F = 12,901*** Power = 0,947	–	–	F = 9,717** Power = 0,874	F = 5,457* Power = 0,644	F = 6,616* Power = 0,727	–	
глобН	–	–	–	–	–	F = 5,594* Power = 0,655	–	–	

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Таблица 4. Вклад генетических и средовых факторов в формирование различных признаков дезорганизации при шизофрении по результатам многомерного дисперсионного анализа. Приведены значения F -критерия ($p < 0,05$), мощность (Power), а также Cohen's w с соответствующими OR и CI для случаев значимых отличий распределения факторов в группах пациентов с выраженными и невыраженными признаками дезорганизации

Дезорганизация (F -критерий)	Генетические факторы				Средовые факторы			
	гиперМ (защитный фактор)	гипоМ (фактор риска)	психот (фактор риска)	урбан (фактор риска)	образ (фактор риска)	ЧМТ (защитный фактор)	травм (фактор риска)	
Странные одежда и внешний вид	-	-	-	-	-	-	-	
Необычное социальное/сексуальное поведение	-	-	$F = 5,749$ Power = 0,666 $w = 0,140$ OR = 1,83 95 % CI (1,04-3,24)	-	-	-	-	
Агрессивное поведение и возбуждение	-	-	$F = 4,165$ Power = 0,529	$w = 0,121$ OR = 1,67 90 % CI (1,05-2,66)	$F = 13,686$ Power = 0,958 $w = 0,248$ OR = 2,92 99 % CI (1,41-6,07)	-	$F = 5,918$ Power = 0,677 $w = 0,159$ OR = 1,96 95 % CI (1,0-3,84)	
Повторяющееся или стереотипное поведение	$F = 4,376$ Power = 0,549	-	-	$F = 5,984$ Power = 0,683 $w = 0,153$ OR = 3,37 95 % CI (1,14-12,03)	-	-	-	
Смысловые скальзывания	$F = 15,680$ Power = 0,976 $w = 0,189$ OR = 2,27 99 % CI (1,03-5,10)	$F = 8,846$ Power = 0,841 $w = 0,136$ OR = 1,79 90 % CI (1,06-3,01)	-	-	$F = 4,492$ Power = 0,560	-	-	

Ответы по касательной	$F = 12,502$ Power = 0,941 $w = 0,176$ OR = 2,29 95 % CI (1,17–4,56)	$F = 6,986$ Power = 0,747 $w = 0,161$ OR = 0,41 90 % CI (0,17–0,93)	$F = 6,954$ Power = 0,747	-	-	$F = 6,664$ Power = 0,730 $w = 0,119$ OR = 1,72 90 % CI (1,03–2,87)	-	-
Разорванность мышления	$F = 11,1027$ Power = 0,911	$F = 5,232$ Power = 0,623	$F = 5,830$ Power = 0,671	-	-	$F = 5,627$ Power = 0,656	-	-
Паралогичность	$F = 7,953$ Power = 0,802 $w = 0,162$ OR = 1,93 95 % CI (1,09–3,4)	$F = 6,322$ Power = 0,705 $w = 0,172$ OR = 0,47 90 % CI (0,24–0,9)	$F = 5,310$ Power = 0,631 $w = 0,132$ OR = 1,72 90 % CI (1,04–2,81)	-	-	$F = 4,910$ Power = 0,598	-	-
Обстоятельность	$F = 9,986$ Power = 0,882 $w = 0,219$ OR = 3,31 99 % CI (1,20–10,1)	-	$F = 7,098$ Power = 0,755 $w = 0,202$ OR = 2,77 99 % CI (1,06–7,43)	-	-	-	-	-
Речевой напор (логоррея)	$F = 12,318$ Power = 0,937 $w = 0,2$ OR = 3,04 99 % CI (1,10–9,34)	-	$F = 5,477$ Power = 0,644 $w = 0,161$ OR = 2,31 95 % CI (1,13–4,71)	-	-	$F = 4,636$ Power = 0,573	-	-
Отвлекаемость	$F = 4,663$ Power = 0,575	-	$F = 5,024$ Power = 0,607 $w = 0,143$ OR = 2,13 90 % CI (1,09–4,19)	-	-	$w = 0,138$ OR = 2,10 95 % CI (1,01–4,34)	-	-
Ассоциации по созвучию	-	-	-	-	-	-	-	-

Результаты многомерного дисперсионного анализа, проведенного в отношении отдельных признаков дезорганизации, а также сравнения распространенности изучаемых факторов в группах пациентов с выраженными и невыраженными признаками дезорганизации представлены в табл. 4 (отражены лишь статистически значимые показатели).

При проведении многомерного дисперсионного анализа в отношении отдельных признаков дименсии психотизма, а также негативных симптомов, гипометилирование генома (гипоМ) не обнаружило статистически достоверного вклада, так же как и полиморфизм гена *MTHFR* (аллель Т проявил себя как фактор риска лишь в отношении признака «бред величия» $F = 5,880$, $Power = 0,675$).

Как видно из приведенных данных, генетически детерминированные особенности систем воспалительного ответа организма, клеточной детоксификации, дофаминергической и серотонинергической нейротрансмиссии не вносят значимого вклада в формирование дименсии дезорганизации при шизофрении. Это свидетельствует о том, что соответствующие «классические» гипотезы развития шизофрении не способны объяснить специфические расстройства мышления и поведения, встречающиеся в клинической картине заболевания достаточно часто.

Статистически достоверно повышает риск развития выраженной дезорганизации аллель Т исследуемого локуса *MTHFR*, а также сочетание аллельных вариантов генов системы метилирования ДНК (*DNMT3b*, *MTHFR*), предрасполагающее к гипометилированию генома. Это позволяет говорить о том, что феномен дезорганизации при шизофрении имеет эпигенетическую обусловленность, при которой низкая активность метилирующих ферментов и недостаток метионина обуславливают снижение уровня эпигенетического «контроля» над ДНК, в том числе над «транскрипционным шумом»³. Принимая во внимание данные о том, что уровень метилирования ДНК изначально выше в головном мозге, по сравнению с остальными органами и тканями [43], можно заключить, что следствием глобального гипометилирования генома является неконтролируемое повышение экспрессии генов центральной нервной системы.

Предлагаемая гипотеза заключается в том, что именно «растормаживание» паттернов генной экспрессии клеток головного мозга лежит в основе десинхронизации активности нейрональных сетей на электрофизиологическом уровне и приводит к невозможности координировать работу структур, задействованных в механизмах перцептуальной организации, последовательной обработки информации, генерации осмысленной речи и сложных поведенческих актов. Речь идет в первую очередь о связях ассоциативных областей коры с базальными ганглиями, о координации межполушарных взаимодействий и ключевой для регуляции поведения биологической системе «вознаграждения», задействующей сеть корково-лимбических связей.

³ Транскрипционным шум – суммарный эффект от случайных колебаний транскрипционной активности ДНК.

Заметим, что генетически детерминированное гипометилирование ДНК повышает риск развития преимущественно позитивных формальных расстройств мышления, в то время как более «очевидные» поведенческие нарушения обусловлены общей наследственной отягощенностью психозами. Поскольку нарушения поведения и мышления при шизофрении составляют единый фактор, т. е. изменяются совместно, можно предполагать их патогенетическую сопряженность через феномен трансгенерационной наследственности⁴ [25].

На уровне суммы глобальных баллов трех дименсий шизофрении из всех полиморфных локусов генов риск развития дезорганизации повышает лишь аллель Т гена *MTHFR*. Данную связь можно объяснить с двух позиций. Во-первых, сниженный синтез метионина приводит к глобальному гипометилированию ДНК, что приводит к описанным выше эпигенетическим последствиям. Во-вторых, имеет значение метаболический дисбаланс, а именно – накопление неизрасходованных продуктов однокарбонового цикла, в частности, гомоцистеина, который, помимо нейротоксического эффекта, обладает способностью активировать NMDA-глутаматные рецепторы ЦНС [45]. Данный аспект патогенеза дезорганизации подкрепляется данными других исследований: в работе [46] показано, что антагонисты NMDA рецепторов (акатинол) эффективны в лечении шизофрении с нарушениями поведения и субкататоническими чертами. Результаты экспериментальных исследований на мышах показали, что кортико-стриатная глутаматергическая система опосредует спонтанное повторяющееся поведение у испытуемых [47; 48]. Можно предполагать, что несостоятельность системы эпигенетического контроля создает патофизиологический фон, на котором особенно заметна гиперактивация глутаматергической нейротрансмиссии головного мозга.

«Комбинация» генетических, эпигенетических и метаболических факторов риска синдрома дезорганизации в предлагаемой гипотезе выглядит следующим образом: генетически детерминированное снижение активности метилтрансферазы DNMT3b и фермента синтеза метионина MTHFR приводит к тому, что установление стабильных паттернов метилирования ДНК (так называемых репрессивных меток) в период раннего эмбриогенеза происходит неэффективно, следствием чего на эндотипическом уровне является диффузное повышение генной экспрессии клеток ЦНС и десинхронизация активности нейронов головного мозга, а на клиническом уровне – формальные расстройства мышления. Данные «шаблоны» метилирования ДНК передаются из поколения в поколение посредством механизмов трансгенерационной наследственности, создавая патологический фон, «усиливающий» эффект вторичных метаболических нарушений, таких как гипергомоцистеинемия и гиперактивация глутаматергической нейротрансмиссии; клиническим следствием этого является дезорганизованное поведение при шизофрении.

⁴ Трансгенерационная наследственность заключается в передаче приобретенных признаков из поколения в поколение. Предполагают, что это возможно за счет передачи отдельных паттернов метилирования ДНК дочерней клетке.

Важно отметить, что аномалии метилирования ДНК являются фактором риска, уникальным для дименсии дезорганизации, что можно использовать для разработки рекомендаций по дифференцированной терапии форм шизофрении с преобладанием расстройств мышления и поведения. В связи с этим целесообразным представляется использование лекарственных средств, повышающих уровень метилирования ДНК, в частности, галоперидола [49].

Около половины изучаемых средовых факторов проявило достоверную связь с одним либо несколькими признаками дезорганизации. Фактором риска клинически наиболее значимого нарушения – агрессивного поведения – является низкий уровень образования. Данное наблюдение соответствует полученным ранее данным [11] и удобнее всего интерпретируется с позиций социально ориентированного подхода как следствие низкого опыта социализации, обычно приобретаемого субъектом в коллективе. Подобный опыт предполагает развитие ряда адаптационных навыков, включая контроль над импульсами, преодоление фрустрации, обусловленной межличностными конфликтами и ограничениями образа жизни, научение адаптивным способам реагирования и поведения, развитие эмпатии и «модели психического». Важное значение имеет и развитие в процессе обучения познавательных способностей, усложнение структуры связей в нейрональных сетях между различными отделами головного мозга. С другой стороны, невозможность продолжать обучение может являться не причиной, а следствием когнитивного дефицита (невозможности усваивать новую информацию, планировать свое поведение и следовать намеченному плану) и поведенческих девиаций, однако в этом случае мы вынуждены допустить достаточно раннюю манифестацию симптомов дезорганизации, охватывающих продромальный период заболевания, либо преморбид в подростковом возрасте.

Психотравмирующие ситуации в раннем возрасте также выступили в качестве фактора риска выраженной агрессии при шизофрении. Ранее данный фактор не рассматривался в контексте трехмерной модели заболевания, поэтому полученные данные можно считать новыми. Если придерживаться теории нарушенного нейронального развития шизофрении и допустить, что патологические изменения, начавшись внутриутробно, непрерывно прогрессируют в течение всех этапов онтогенеза, то ранний опыт виктимизации можно рассматривать как модифицирующий фактор в динамике патологического процесса еще на до-манифестном этапе заболевания, «направляющий» его траекторию в сторону дезорганизации.

Полученные данные демонстрируют, что высокий уровень урбанизации вносит значимый вклад не только в выраженность дименсии негативных симптомов при шизофрении, но и дезорганизации. Кроме агрессии данный фактор проявил связь с повторяющимся/стереотипным поведением. Рассмотрим возможный биологический аспект подобной ассоциации, в которой урбанизация выступает в роли хронического стрессора. Стереотипное поведение рассматривают как «крайний» вариант привычек, формирование которых возможно благодаря долговременной

пластичности стриатума, зависимой от опыта [50]. Ключевым механизмом подобной адаптации кортико-стриатно-таламо-кортикальной сигнальной системы считается гиперактивация прямого, опосредованного D1 рецепторами пути [47; 48]. При этом известно, что цепь индуцированных стрессом патохимических реакций в организме включает изменения активности дофаминергической нейротрансмиссии [51]. Можно предполагать, что в основе повторяющегося поведения при дезорганизации лежит вызванная хроническим стрессом патопластическая адаптация стриатума, опосредованная механизмами регуляции генной экспрессии. В данном контексте урбанизация выступает в роли модифицирующего фактора, который, изменяя экспрессию клеток головного мозга, приводит к гиперактивации дофаминергического пути и долговременной морфофункциональной «перестройке» стриатума, клиническим следствием чего является повторяющееся/стереотипное поведение.

Интересен протективный эффект ЧМТ в отношении признака «речевой напор» (логорея) – можно предполагать, что патофизиологический субстрат данного нарушения речи при шизофрении требует сохранности определенных «лингвистических» отделов ЦНС, механически повреждаемых вследствие ЧМТ. Несмотря на то что с момента травмы в большинстве случаев прошло много лет, «остаточные» морфологические нарушения, сохраняющиеся на микроуровне, могли отразиться на динамических характеристиках мыслительного процесса и особенностях речевой продукции.

Вклад генетических и средовых факторов в патогенез дименсии дезорганизации при шизофрении можно интерпретировать с точки зрения эпигенетического подхода. Средовые факторы – высокий уровень урбанизации, психотравмирующие ситуации в раннем возрасте – создают неблагоприятную обстановочную афферентацию, приводящую к стойким эпигенетическим абберациям генома, т. е. измененным паттернам метилирования ДНК. Главной причиной, делающей возможным такой патогенетический сценарий является несостоятельность системы эпигенетического контроля – генетически опосредованное гипометилирование ДНК и «растормаживание» паттернов генной экспрессии клеток ЦНС, с преимущественной вовлеченностью возбуждающей глутаматергической системы нейротрансмиссии. Низкий уровень образования оказывает «пермиссивный» эффект в отношении разворачивающихся патологических событий не только вследствие отсутствия необходимой «нагрузки» для тренировки когнитивных способностей, недостаточных при шизофрении, но и за счет недостатка внешних «ограничительных» мер, обеспечивающих «научение» адаптивным способам поведения и реагирования в социуме. Долговременным следствием вышеописанного являются на эндофенотипическом уровне – десинхронизация активности нейрональных сетей головного мозга и невозможность координировать работу структур, задействованных в механизмах перцептуальной организации, последовательной обработки информации, генерации осмысленной речи и сложных поведенческих актов, а на клиническом уровне – формальные расстройства мышления и нарушенное поведение.

Выводы

1. Синдром дезорганизации при шизофрении имеет собственные биологические и средовые детерминанты, воздействующие как в период раннего эмбриогенеза, так и на протяжении жизни взрослого индивида.

2. Генетически детерминированные особенности систем воспалительного ответа организма, клеточной детоксификации, дофаминергической и серотонинергической нейротрансмиссии не вносят значимого вклада в формирование дименсии дезорганизации при шизофрении.

3. В отличие от дименсий позитивных и негативных симптомов шизофрении, выраженность синдрома дезорганизации в значительной степени детерминирована эпигенетическими аномалиями, в частности, глобальным гипометилированием ДНК. Это объясняется генетически детерминированным снижением активности метилтрансферазы DNMT3b и фермента синтеза метионина MTHFR.

4. Важным патогенетическим звеном в развитии формальных расстройств мышления при шизофрении является снижение эпигенетического «контроля» над ДНК, приводящее к неизбирательному повышению генной экспрессии клеток головного мозга и нарушенной способности «координировать» и «синхронизировать» активность нейрональных сетей в процессе осуществления целенаправленной деятельности, в том числе речевой.

5. В развитие нарушений поведения в структуре синдрома дезорганизации при шизофрении вносят вклад наследственная отягощенность психотическими расстройствами (в том числе опосредованная механизмами трансконгенерационной наследственности), а также наличие низкоактивного аллеля T гена *MTHFR*.

6. Патохимическим субстратом в развитии синдрома дезорганизации при шизофрении служит гипергомоцистеинемия, ассоциированная с наличием низкоактивного аллеля T гена *MTHFR*, а также опосредованная рецепторами NMDA гиперактивация глутаматергической системы головного мозга.

7. Разработка дифференцированной стратегии лечения пациентов с выраженными нарушениями поведения и мышления в клинической картине шизофрении должна производиться с учетом эпигенетических аномалий метилирования ДНК, имеющихся у таких лиц, и включать медикаментозную коррекцию геномного гипометилирования. Среди группы антипсихотических препаратов для этих целей наиболее целесообразно использовать галоперидол, поскольку он повышает уровень метилирования ДНК. Представляется перспективным также расширить использование препаратов, обладающих свойством модифицировать структуру хроматина и тем самым изменять уровень генной экспрессии, а также использовать препараты фолиевой кислоты для коррекции метаболических нарушений в однокарбонном цикле и эффективного превращения гомоцистеина в метионин.

8. К модифицируемым средовым факторам риска развития выраженной дезорганизации при шизофрении относятся низкий уровень образования, наличие субъективно значимых психотравмирующих ситуаций в детстве/юношестве, связанных с неблагоприятной семейной обстановкой, длительное проживание в местности с вы-

соким уровнем урбанизации. Категория лиц, относящихся к «группе риска» развития выраженной дезорганизации на основании перечисленных факторов особенно нуждается в тренировке «социального интеллекта», психообразовательной работе в семье, своевременной диагностике продромальных проявлений шизофрении.

9. Низкий уровень образования является наиболее мощным средовым фактором, определяющим выраженность дезорганизации на этапе клинического исхода шизофрении. Низкая вовлеченность пациентов в социальные формы активности на ранних этапах развития заболевания приводит к несформированности адаптационных навыков, дефициту «социального интеллекта», что проявляется в агрессивном поведении и формальных расстройств мышления.

10. В развитии синдрома дезорганизации при шизофрении играет роль хронический стресс, индуцирующий патопластические изменения в стриатуме за счет модуляции активности дофаминергической нейротрансмиссии. Следствием этого является формирование дезадаптивных повторяющихся/стереотипных паттернов поведения. Высокий уровень урбанизации может являться источником подобного хронического стресса.

11. Генетически детерминированное гипометилирование ДНК, ассоциированное с явлениями дезорганизации в клинической структуре шизофрении, приводит к недостаточности системы эпигенетического контроля и неспособности эффективно изменять уровень генной экспрессии головного мозга в ответ на неблагоприятные средовые факторы. Это обуславливает повышенную уязвимость индивида к таким факторам окружающей среды, как высокий уровень урбанизации, неблагоприятная обстановка в семье и острые психотравмирующие ситуации.

Литература

1. *Liddle P.* The symptoms of chronic schizophrenia. A re-examination of the positive–negative dichotomy // *Br. J. Psychiatry.* 1987. Vol. 151, N 2. P. 145–151.
2. *Andreasen N.* et al. Remission in Schizophrenia: Proposed Criteria and Rationale for Consensus // *Am. J. Psychiatry.* 2005. Vol. 162. P. 441–449.
3. *Мосолов С. Н.* Шкалы психометрической оценки симптоматики шизофрении и концепция позитивных и негативных расстройств. М., 2001. – 95 с.
4. *Sigaudo M.* et al. Quality of life in stable schizophrenia: The relative contributions of disorganization and cognitive dysfunction // *Schiz. Res.* 2014. Vol. 153. P. 196–203.
5. *Metsanen M.* et al. Thought Disorder Index: a longitudinal study of severity levels and schizophrenia factors // *J. Psychiatr Res.* 2006. Vol. 40. P. 258–266.
6. *Reed R. A.* et al. Executive function in schizophrenia: is it linked to psychosis and poor life functioning? // *J. Nerv. Ment. Dis.* 2002. Vol. 190. P. 725–732.
7. *Ventura J.* et al. Disorganization and reality distortion in schizophrenia: A meta-analysis of the relationship between positive symptoms and neurocognitive deficits // *Schiz. Res.* 2010. Vol. 121. P. 1–14.
8. *Norman R.* et al. Symptoms and cognition as predictors of community functioning: a prospective analysis // *Am. J. Psychiatry.* 1999. Vol. 156. P. 400.
9. *Ventura J.* et al. Symptoms as mediators of the relationship between neurocognition and functional outcome in schizophrenia: a meta-analysis // *Schiz. Res.* 2009. Vol. 113. P. 189–199.
10. *Нестерович А. Н.* Феномен дезорганизации при шизофрении: современные представления и биологические корреляты. Обзор литературы // *Медицинская панорама.* 2015. № 5. С. 37–43.

11. *Еремина Л. Е.* Роль социальных факторов в формировании общественно опасного поведения больных шизофренией (сравнительное многофакторное эпидемиологическое исследование): автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 1984.
12. *Cardno A.* et al. Twin study of symptom dimensions in psychoses // *Br. J. Psychiatry.* 2001. Vol. 179. P. 39–45.
13. *Rietkerk T.* et al. The genetics of symptom dimensions of schizophrenia: Review and meta-analysis // *Schiz Res.* 2008. Vol. 102. P. 197–205.
14. *Wilcox M.* et al. Genome scan of three quantitative traits in schizophrenia pedigrees // *Biol. Psychiatry.* 2002. Vol. 52. P. 847–854.
15. *Serretti A., Macciardi F., Smeraldi E.* Dopamine receptor D2 Ser/Cys 311 variant associated with disorganized symptomatology of schizophrenia // *Schiz. Res.* 1998. Vol. 34, N 3. P. 207–210.
16. *Fretland R. A.* et al. Theory of mind in schizophrenia: Error types and associations with symptoms // *Schiz. Res.* 2015. Vol. 162. P. 42–46.
17. *Hardy'Bayle M.* et al. The Cognitive Basis of Disorganization Symptomatology in Schizophrenia and Its Clinical Correlates: Toward a Pathogenetic Approach to Disorganization // *Schiz. Bull.* 2003. Vol. 29, N 3. P. 459–471.
18. *Peralta V., Cuesta M. J.* The relationship between syndromes of the psychotic illness and familial liability to schizophrenia and major mood disorders // *Schiz. Res.* 2007. Vol. 91. P. 200–209.
19. *McCarley R. W.* et al. Cognitive dysfunction in schizophrenia: unifying basic research and clinical aspects // *Eur. Arch. Psychiatry Clin. Neurosci.* 1999. Vol. 249, N 4. P. 69–82.
20. *Nestor P. G.* et al. Word recall in schizophrenia: a connectionist model // *Am. J. Psychiatry.* 1998. Vol. 155, N 12. P. 1685–1690.
21. *Spitzer M.* A Cognitive neuroscience view of schizophrenia thought disorder // *Schiz. Bull.* 1997. Vol. 23, N 1. P. 29–50.
22. *Hoffman R. E., McGlashan T. H.* Reduced corticocortical connectivity can induce speech perception pathology and hallucinated 'voices' // *Schiz. Res.* 2010. Vol. 30. P. 137–141.
23. *Yoon J. H.* et al. Association of Dorsolateral Prefrontal Cortex Dysfunction With Disrupted Coordinated Brain Activity in Schizophrenia: Relationship With Impaired Cognition, Behavioral Disorganization, and Global Function // *Am. J. Psychiatry.* 2008. Vol. 165. P. 1006–1014.
24. *Whitford T. J.* et al. Corpus callosum abnormalities and their association with psychotic symptoms in patients with schizophrenia // *Biol. Psychiatry.* 2010. Vol. 68, N 1. P. 70–77.
25. *Кэрпу Н.* Эпигенетика. Ростов-на Дону, 2012. – С. 79.
26. *Liu J.* et al. Methylation Patterns in Whole Blood Correlate With Symptoms in Schizophrenia Patients // *Schiz. Bull.* 2014. Vol. 40, N 4. P. 769–776.
27. *Wockner L. F.* et al. Genome-wide DNA methylation analysis of human brain tissue from schizophrenia patients // *Translational Psychiatry.* 2014. Vol. 1. P. 8.
28. *Hopper K., Harrison G., Janča A., Sartorius N.* Recovery from schizophrenia. An international perspective. A report from the WHO collaborative project, the international study of schizophrenia. Oxford University press., 2007. – P. 215.
29. *Kapur S., Remington G.* Serotonin-dopamine interaction and its relevance to schizophrenia // *Am. J. Psychiatry.* 1996. Vol. 153, N 4. P. 466–476.
30. *Kashani F.* et al. Analysis of glutathione S-transferase genes polymorphisms and the risk of schizophrenia in a sample of Iranian population // *Neuron Glia Biology.* 2011. Vol. 7, N 2–4. P. 199–203.
31. *Al-Asmari A. K., Khan M. W.* Inflammation and schizophrenia: alterations in cytokine levels and perturbation in antioxidative defense systems // *Hum. Exp. Toxicol.* 2014. Vol. 33, N 2. P. 115–122.
32. *Lachman H. M.* et al. Association of codon 108/158 catechol-o-methyltransferase gene polymorphism with the psychiatric manifestations of velo-cardio-facial syndrome // *Am. J. Med. Gen.* 1996. Vol. 67, N 5. P. 468–472.
33. *Lesch K. P.* et al. Association of Anxiety-Related Traits with a Polymorphism in the Serotonin Transporter Gene Regulatory Region // *Science.* 1996. Vol. 274. P. 1527–1531.
34. *Pohjalainen T.* et al. The A1 allele of the human D2 dopamine receptor gene predicts low D2 receptor availability in healthy volunteers // *Mol. Psychiatry.* 1998. Vol. 3, N 3. P. 256–260.
35. *Woo P., Humphries S. E.* IL-6 polymorphisms: a useful genetic tool for inflammation research? // *J. Clin. Invest.* 2013. Vol. 123. P. 1413–1414.

36. *Mira J. P.* et al. Association of TNF2, a TNF-alpha promoter polymorphism, with septic shock susceptibility and mortality: a multicenter study // *JAMA*. 1999. Vol. 282. P. 561–568.
37. *Feng J.* et al. Dynamic expression of de novo DNA methyltransferases Dnmt3a and Dnmt3b in the central nervous system // *J. Neurosci Res*. 2005. Vol. 79. P. 734–746.
38. *Wang L.* et al. Functional relevance of C46359T in the promoter region of human DNMT3B6 // *Proc. AACR [Abstract]*. 2004. Vol. 45. P. 2913.
39. 1000 genomes. Catalogue of human gene variants [Electronic source]. – Mode of access: <http://browser.1000genomes.org>.
40. *Liang G.* et al. Cooperativity between DNA methyltransferases in the maintenance methylation of repetitive elements // *Mol. Cell. Biol*. 2002. Vol. 22. P. 480–491.
41. *Vertino P.* et al. De novo methylation of CpG island sequences in human fibroblasts overexpressing DNA (cytosine-5)-methyltransferase // *Mol. Cell. Biol*. 1996. Vol. 16. P. 4555–4565.
42. *Arakawa Y.* et al. Association of polymorphisms in DNMT1, DNMT3A, DNMT3B, MTHFR and MTRR genes with global DNA methylation levels and prognosis of autoimmune thyroid disease // *Clin. Exp. Immunol*. 2012. Vol. 170, N 2. P. 194–201.
43. *Trifonova E. A.* et al. Genetic Diversity and the Structure of Linkage Disequilibrium in the Methylenetetrahydrofolate Reductase Locus // *Russian J. of Genetics*. 2008. Vol. 44, N 10. P. 1224–1232.
44. *Applebaum J.* et al. Homocysteine levels in newly admitted schizophrenic patients // *J. Psychiatr. Res*. 2004. Vol. 38, N 4. P. 413–416.
45. *Lipton S.* et al. Neurotoxicity associated with dual actions of homocysteine at the N-methyl-D-aspartate receptor // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1997. Vol. 94. P. 5923–5928.
46. *Морозова М. А.* и др. Применение акатинола у больных шизофренией вне обострения заболевания с признаками дезорганизации поведения и субкататоническими нарушениями // *Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. 2014. № 1. С. 35–41.
47. *Presti M. F.* et al. Behavior-related alterations of striatal neurochemistry in a mouse model of stereotyped movement disorder // *Pharmacol. Biochem. Behav*. 2004. Vol. 77, N 3. P. 501–507.
48. *Tanimura Y., Vaziri S., Lewis M. H.* Indirect basal ganglia pathway mediation of repetitive behavior: attenuation by adenosine receptor agonists // *Behav. Brain Res*. 2010. Vol. 210, N 1. P. 116–122.
49. *Kordi-Tamandani D. M., Dahmardeh N., Torkamanzei A.* Evaluation of hypermethylation and expression pattern of GMR2, GMR5, GMR8, and GRIA3 in patients with schizophrenia // *Gene*. 2013. Vol. 515. P. 163–166.
50. *Graybiel A. M.* Habits, rituals, and the evaluative brain // *Annu Rev. Neurosci*. 2008. Vol. 31. P. 359–387.
51. *Selten J. P., Cantor-Graae E.* Social defeat: risk factor for schizophrenia? // *Br. J. Psych*. 2005. Vol. 187. P. 101–102.

A. N. NESTSIAROVICH

DISORGANIZATION SYNDROME IN SCHIZOPHRENIA: THE CONTRIBUTION OF ENVIRONMENTAL AND GENETIC FACTORS

Summary

The article provides the results of the clinical-genetic study in which the role of genetic factors (polymorphic gene variants related to neurotransmission, cell detoxification, inflammatory response and DNA methylation) and environmental factors (urbanicity, childhood psychotrauma, one parent family, etc.) was analyzed in formation of disorganization syndrome in schizophrenia which implies disturbances of behavior and thinking. Important role of epigenetic factors has been shown in disorganization development, in particular – genetically determined DNA hypomethylation, which should be taken into account when developing differential approach for treatment of patients with severe behavioral and thinking disturbances.

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

УДК 542.943 + 544.47:544.476

Э. Б. ЗЕЙНАЛОВ, М. Я. МАГЕРРАМОВА

ОКИСЛЕНИЕ ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛА

*Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Ф. Нагиева
Национальной академии наук Азербайджана*

(Поступила в редакцию 11.06.2015)

Приведен краткий обзор публикаций по окислению кумола молекулярным кислородом. Показано, что усилия исследователей направлены, в основном, на подбор эффективных иницилирующих и каталитических систем, обеспечивающих селективное окисление кумола в гидропероксид. Предпочтение отдается катализаторам, которые не способны участвовать в процессе вырожденного разветвления цепей и не приводят к получению продуктов, ингибирующих окисление.

Окислительные трансформации алкилароматических углеводородов являются одними из самых перспективных и лежат в основе промышленных процессов получения разнообразных практически ценных кислородсодержащих органических соединений – алкилфенолов, оксидов олефинов, циклических и алифатических кетонов [1].

В тонком органическом синтезе спектр используемых агентов окисления достаточно широк – это соединения серы, минеральные кислоты, надкислоты, озон, растворы перманганата калия и бихромата натрия, органические и неорганические пероксиды, соединения некоторых металлов и т. д. Однако в промышленных химических и нефтехимических процессах выбор окислителей жестко ограничен и регулируется, кроме окислительного потенциала, такими факторами, как дешевизна, доступность, экологическое соответствие, возможность повторного использования. Наиболее широко распространенными окислителями являются молекулярный кислород, органические гидропероксиды и пероксид водорода. Последний экологичен и имеет определенное преимущество, так как может эффективно использоваться для окисления в составе каталитической системы в сочетании с соединениями железа – аналогами системы Фентона [2–7].

Все вышеперечисленные окислители генерируют в системе свободные радикалы и окисление алкилароматических углеводородов протекает, как правило, по

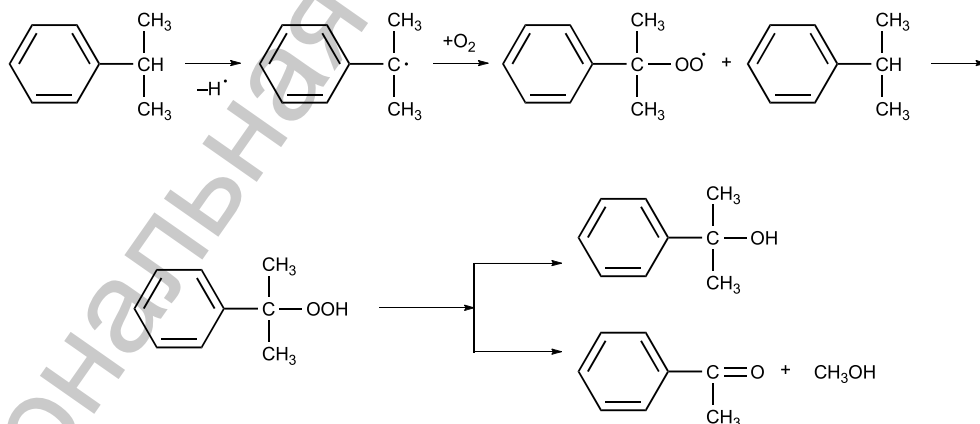
свободнорадикальному цепному механизму. Исследования, выполненные под руководством Н. Н. Семенова и В. Н. Кондратьева (реакции газофазного окисления) [8; 9], Н. М. Эмануэля и Р. А. Шелдона (реакции жидкофазного окисления) [10; 11], создали фундаментальные основы цепных реакций автоокисления углеводородов и сформулировали рычаги управления этими процессами. Так, было установлено, что одним из эффективных методов регулирования скорости и механизма свободно-радикального автоокисления углеводородов является используемая каталитическая система.

Селективное окисление алкиларенов в соответствующие продукты окисления является одной из трудных и существенных задач катализа, так как реакция протекает с вырожденным разветвлением цепей, катализатор способствует распаду гидропероксидов, и добиться селективности по продукту, особенно при высоких конверсиях, бывает чрезвычайно трудно. Поэтому, чтобы добиться селективности по гидропероксиду, следует подбирать такой катализатор, который не разлагал бы гидропероксид и обеспечивал бы его достаточный выход при низких конверсиях.

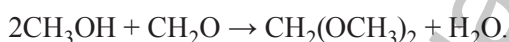
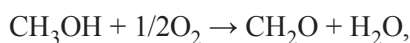
Рассмотрим материал по наиболее типичному представителю алкиларенов – изопропилбензолу, который, наряду с этилбензолом, является самым используемым объектом промышленных окислительных процессов: путем жидкофазного окисления изопропилбензола в промышленности получают фенол и ацетон («Хок-процесс» (кумольный метод)), а окислением этилбензола через синтез гидропероксида – стирол и оксид пропилена («Халкон-процесс») [2].

Имеется ряд публикаций по окислению кумола в присутствии различных инициаторов и каталитических систем.

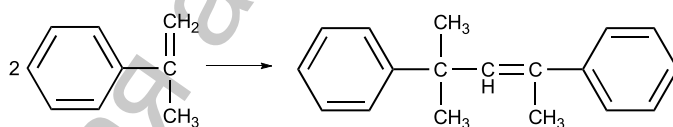
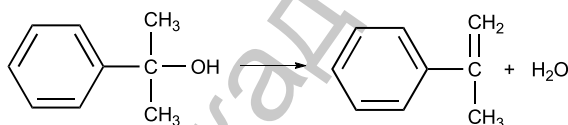
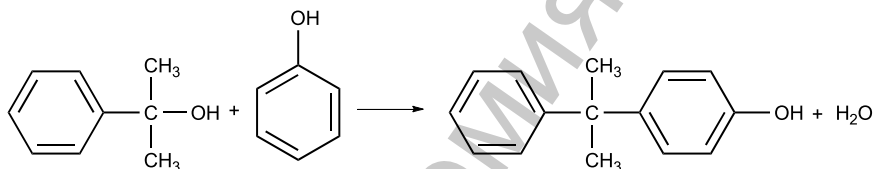
Окисление кумола молекулярным кислородом с применением радикальных инициаторов – азобисизобутиронитрила, бензоилпероксида, гидропероксида трет-бутилаи кумола и других проводят в жидкой фазе при температуре выше 120 °С, процесс окисления протекает по свободно-радикальному цепному механизму [10; 13]:



Первым стабильным продуктом окисления является гидропероксид кумола (ГПК). По мере повышения концентрации ГПК в реакционной массе селективность процесса по гидропероксиду снижается из-за его разложения с образованием диметилфенилкарбинола, ацетофенона и метанола. В процессе дальнейших превращений метанол окисляется в формальдегид и муравьиную кислоту и диметоксиметан по реакциям [14]



Из диметилфенилкарбинола далее образуются кумилфенол, α -метилстирол, димер α -метилстирола и смолистые вещества:



Некоторые из продуктов окисления ингибируют процесс окисления кумола [14; 15] и вносят существенные коррективы в параметры процесса. Кроме того, большое значение при окислении кумола имеет чистота исходного углеводорода. Он не должен содержать этил- и бутилбензолов, фенола, серосодержащих и ненасыщенных соединений, которые также являются ингибиторами процесса окисления.

Таким образом, при окислении кумола в присутствии радикальных инициаторов предъявляются высокие требования к чистоте сырья, процесс протекает при относительно высоких температурах и сопровождается образованием большого количества побочных продуктов окисления.

Рассмотрены катионные и анионные поверхностно-активные вещества (ПАВ) в условиях эмульсионного окисления кумола молекулярным кислородом [17; 18]. В работе [17] на примере бромида цетилтриметиламмония (ЦТМАБ) показано, что каталитическая активность обусловлена образованием радикалов при окислении бромид-ионов молекулярным кислородом и гидропероксидом. Отмечено, что сферические мицеллы ЦТМАБ в водной фазе способствуют образованию свободных радикалов.

В работе [11] проведено исследование кинетики эмульсионного окисления кумола молекулярным кислородом в присутствии лаурата натрия (LNa). Авторами предложен механизм каталитической активности алкилкарбоксилатов натрия, согласно которому молекула ПАВ окисляется кислородом до α -гидропероксида, который взаимодействует с ГПК с образованием свободных радикалов. Определены оптимальные условия окисления: pH водной фазы 8–10 (в сильнощелочных средах с pH >10 скорость эмульсионного окисления уменьшается) и концентрация ПАВ в области от начала образования сферических мицелл до области образования сфероцилиндрических мицелл. Показано, что использование в качестве катализаторов LNa и мицеллярной формы катионных ПАВ способствует образованию свободных радикалов процесса окисления кумола до ГПК.

Однако указанные каталитические системы не оказывают существенного влияния на показатели процесса – конверсия кумола и селективность процесса окисления увеличиваются только на 1–3 % по сравнению с известным способом окисления.

Исследование процесса окисления кумола кислородом воздуха в присутствии ацетилацетоната ванадила [19] осуществляли при следующих условиях: время окисления 4 ч, температура 110 °С, подача воздуха 10 л/ч.

При максимальном содержании ГП ИПБ 11,3 масс. % селективность достигает 64 %. В области концентраций ацетилацетоната ванадила 10^{-4} моль/л происходит резкое изменение скорости накопления гидропероксида и диметилфенилкарбинола, затем начинается бурный распад гидропероксида, сопровождающийся ростом относительного содержания ацетофенона в оксидате. При этом снижается селективность процесса из-за усиления вторичных процессов с участием гидропероксида.

Исследование эффективности каталитического действия соединений непереходных металлов – нафтенатов натрия, кадмия, цинка (NaNf , CdNf_2 , ZnNf_2) в процессе жидкофазного окисления кумола [20] проводили в кинетической области в интервале температур 100–120 °С. Время окисления 6 ч, скорость подачи воздуха 0,6 л/мин, интервал концентраций катализаторов от 10^{-3} до 10^{-2} моль/л. Механизм катализа соединениями непереходных металлов связан с их реакциями на стадии вырожденного разветвления. Установлено, что каталитическая активность соединений кадмия выше, чем цинка и натрия. Содержание гидропероксида в присутствии таких систем достигает 24, 16 и 12 масс. % соответственно. Однако способность данных катализаторов, наряду с иницированием цеп-

ной реакции окисления, вызывать безрадикальный распад образующейся гидропероксида делает реакцию плохо регулируемой.

Смешанные катализаторы более устойчивы к действию продуктов окисления, поэтому были исследованы смеси данных катализаторов. Например, при использовании смеси $\text{NaNf} + \text{CdNf}_2$, $\text{NaNf} + \text{ZnNf}_2$, $\text{ZnNf}_2 + \text{CdNf}_2$ в соотношении от 1 : 1 до 1 : 10 удается получить ГПК с выходом 35 %. Установлено, что при определенном соотношении концентраций исследуемых соединений наблюдается неаддитивное увеличение скорости накопления гидропероксида. Предлагаемые катализаторы, однако, высокочувствительны к примесям и эффективны только при окислении товарного кумола.

В работе [21] установлено, что при проведении процесса в промышленных условиях с использованием в качестве катализаторов стеаратов меди, кадмия или серебра реакция окисления затормаживается после достижения 15–18 % концентрации ГПК в оксидате. Окисление же в присутствии одного стеарата бария вообще не протекает. И только если в начале окисления в реакционную смесь одновременно добавлены две соли – соль металла переменной валентности и соль щелочного или щелочно-земельного металла, окисление начинается энергично и протекает до высоких степеней превращения кумола. Скорость распада ГПК в присутствии смешанного катализатора существенно зависит от природы металла переменной валентности и его концентрации. Авторы утверждают (как нам представляется, весьма спорно), что наиболее активна в реакциях инициирования цепей и разложения ГПК медь, скорость распада ГПК при использовании стеарата меди даже выше, чем при применении стеарата кадмия. Следовательно, стеарат меди менее пригоден для использования на практике. Варьирование температуры в пределах 110–120 °С не вызывает существенного изменения в соотношении количеств ГПК и продуктов распада. В случае больших степеней окисления кумола (60–65 %) наблюдается высокое содержание продуктов распада ГПК.

Изучен процесс окисления кумола в присутствии галогенидов тетраэтил- и тетрабутилалкиламмония в растворе бензонитрила и в его смеси с хлорбензолом при температуре 85 °С [22; 23]. Предложена схема окисления, которая включает:

- 1) обратимую реакцию равновесного образования комплекса между молекулой гидропероксида и катализатора, последующий распад которого (гидропероксида) приводит к инициированию цепи;
- 2) реакцию дезактивации катализатора как результат бимолекулярного взаимодействия комплексов;
- 3) реакции кумилпероксильных радикалов с молекулой катализатора или продуктами его преобразования.

Исследован процесс окисления кумола кислородом воздуха в присутствии иницирующей системы пероксид бензоила–тетра-алкиламмониййодид [24]. Установлено, что данная система начинает активировать процесс окисления кумола уже при 40 °С. При этой температуре ГПК практически не распадается, скорость реакции возрастает с увеличением содержания как кумола, так и йодида.

Исследование влияния природы катиона в составе йодидов на примере Bu_4Ni , Et_4Ni и ряда других солей показывает, что даже значительные изменения в структуре катиона (переход от аммониевых к фосфониевым солям и изменение заместителей в катионе) незначительно влияют на скорость окисления кумола. Выход ГПК составляет 85 %. Однако в ходе реакции происходит образование бензойной кислоты, присутствие которой вызывает значительное снижение скорости процесса.

В ряде публикаций представлены результаты окисления кумола в присутствии нанопорошков меди. В работе [25] была изучена реакционная способность нанопорошков меди в модельной реакции окисления кумола. Окисление проводили на газометрической установке. В реактор помещали 0,7 моль кумола и 0,12 % нанопорошков меди. Реакцию проводили при 60 °С. Конверсия ГПК в этом случае составляет 0,8 %. Установлено, что при окислении кумола в присутствии нанопорошков меди максимальная скорость поглощения кислорода зависит от удельной поверхности твердых добавок. Однако недостатком данных инициаторов является невысокая конверсия сырья. Увеличение массы нанопорошков почти в 10 раз не приводит к какому-либо значительному увеличению выхода продуктов реакции.

В другой работе [26] исследована реакция окисления изопропилбензола кислородом в присутствии нанопорошков меди, полученных в различных условиях электрического взрыва проводника. Установлено, что окислительная конверсия изопропилбензола имеет место только для нанопорошков с линейной функцией поглощения кислорода. Показано, что выдерживание нанопорошков меди в вакууме стимулирует их иницирующую активность. Найдено, что более низкая начальная температура окисления нанопорошка на воздухе соответствует большей скорости поглощения кислорода изопропилбензолом, при этом количество поглощенного кислорода неэквивалентно конверсии изопропилбензола.

Изучена реакция жидкофазного окисления изопропилбензола в интервале 110–130 °С в присутствии азотсодержащих катализаторов [27]. Найдено, что при использовании N-гидроксифталимида и его 3- и 4-метилзамещенных аналогов удается в течение 2–2,5 ч достичь 40–50 % конверсии изопропилбензола при селективности образования гидропероксида изопропилбензола 90 %. Авторы отмечают, что учитывая масштабы производства фенола, решение проблемы интенсификации процесса окисления изопропилбензола с использованием N-гидроксифталимида, за счет повышения скорости реакции и конверсии углеводорода при сохранении высокой селективности образования гидропероксида, может существенно улучшить экономические показатели процесса.

В работе [28] показано, что N-гидроксифталиимид и его структурные аналоги являются катализаторами жидкофазного окисления алкилароматических углеводородов, использование которых без существенного изменения технологии окисления кумола до гидропероксида повышает производительность процесса получения фенола и ацетона. Квантово-химическим методом РМЗ подтверждена це-

лесообразность использования катализаторов такого типа. Даны объяснения механизму реакции окисления кумола, этилбензола и циклогексилбензола до соответствующих гидропероксидов в присутствии N-гидроксифталимида. Рассчитана константа скорости отрыва атома водорода пероксирадикалом от молекулы N-гидроксифталимида и углеводорода.

В этой же серии работ предложен способ получения гидропероксидов алкилбензолов в мягких условиях в присутствии N-гидроксиимида и полярного растворителя [29]. Способ отличается тем, что алкилбензол реагирует с кислородом в присутствии каталитической системы, включающей N-гидроксиимид и полярный растворитель в отсутствие радикального инициатора, при объемном отношении полярного растворителя к алкилбензолу в диапазоне от 1 : 1 до 1 : 10. Изобретение направлено, в частности, на селективное получение ГПК. Температура не превышает 120 °С и предпочтительно составляет от 50 до 100 °С. Полярный растворитель может представлять собой кетон, а также другие кетоны, образующиеся при кислотном разложении гидропероксида (ацетон, метилэтилкетон, циклогексанон), или другие растворители, например, нитрилы, сложные эфиры, третичные спирты, диалкилкарбонаты, также стабильные в условиях реакции. Количество катализатора, представляющего собой N-гидроксипроизводное, предпочтительно составляет от 0,5 до 10 мол. %. По окончании реакции N-гидроксипроизводное, в частности, более удобный N-гидроксифталимид, в основном извлекают кристаллизацией из реакционной смеси, из которой полярный растворитель до этого был удален дистилляцией. Небольшие количества остаточного катализатора извлекают из реакционной смеси экстракцией водой. В тех же условиях в отсутствие как N-гидроксифталимида, так и полярного растворителя, значимой реакции окисления не происходит. Авторы отмечают, что наиболее сложная фаза, которая в значительной степени влияет на весь процесс, представляет собой автоокисление, при котором образовавшийся ГПК действует как инициатор радикальной цепи, разлагаясь с образованием кумилокисильного радикала. Этот радикал может образовывать кумиловый спирт (диметилфенилкарбинол, 2-фенил-2-пропанол), отщепляя водород от кумола, или подвергается β -расщеплению с образованием ацетофенона и метильного радикала. Эти процессы объясняют многочисленные недостатки способа в целом. Селективность образования гидропероксида понижается до такой степени, что сам гидропероксид начинает действовать как инициатор. С другой стороны, скорость разложения гидропероксида увеличивается с повышением степени конверсии кумола и температуры. Высокая степень превращения вызывает соответствующий рост концентрации гидропероксида и, таким образом, увеличивается скорость разложения гидропероксида и понижается селективность. Кроме того, метильный радикал, образующийся при β -расщеплении кумилокисильного радикала, окисляется в условиях реакции до муравьиной кислоты. Муравьиная кислота катализирует разложение гидропероксида с образованием фенола, который ингибирует процесс окисления. Таким образом, в промышленных условиях для нейтрализации

муравьиной кислоты необходимо использовать основание [29]. Использование катализаторов или сокатализаторов – солей металлов переходных металлов или комплексов металлов не устраняет проблему, так как указанные соединения, даже при низких температурах, при которых гидропероксид достаточно термически стабилен, вызывают его окислительно-восстановительное разложение [30]. Эти катализаторы широко используются в промышленности для получения таких продуктов окисления, как спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, однако непригодны в процессах окисления углеводородов, ориентированных на получение гидропероксидов.

Были предложены новые каталитические системы для аэробного окисления кумола, полученные на основе N-гидроксиимидов и сульфамидов, связанных с радикальными инициаторами, например, пероксидами и азопроизводными, которые не включают солей металлов [31–33]. Как было отмечено выше, особенный интерес вызывает N-гидроксифталимид, который может быть легко получен из дешевых промышленных продуктов (фталевого ангидрида и гидроксиламина). Его каталитическая активность [34–36] связана с более высокой скоростью отщепления водорода от кумола под действием нитроксидного радикала ($3,25 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ при $25 \text{ }^\circ\text{C}$), получаемого из N-гидроксифталимида в каталитическом цикле, по сравнению со скоростью отщепления водорода от кумола под действием кумилпероксильного радикала ($0,18 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ при $25 \text{ }^\circ\text{C}$), участвующего в некатализируемом цепном процессе.

Разработана методика аэробного окисления кумола в гидропероксид, катализируемого металлопорфиринами [37]. Как правило, реакция проводится в прерывистом режиме при атмосферном давлении воздуха при температуре ниже $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Подробно изучен ряд важных параметров реакции, включая структуру и концентрацию металлопорфирина, скорость потока воздуха и температуру. Анализ полученных данных показал значительное ускорение реакции и увеличение выхода ГПК в присутствии металлопорфиринов при сохранении высокой селективности. Оптимальные условия реакции: время 4–5 ч, катализатор мономарганецпорфирин (n-Cl) TPPMnCl ($7,20 \cdot 10^{-5}$ моль/л), температура $120 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость потока воздуха 600 мл/мин. Согласно полученным результатам, повышение концентрации (n-Cl) TPPMnCl, увеличение времени реакции и повышение температуры снижают выход ГПК из кумола. При исследовании кинетики реакции определена энергия активации (E), около $38,9 \cdot 10^4$ кДж/моль. Авторы статьи правомочно считают, что наблюдаемая низкая энергия активации объясняет, почему скорость окисления кумола в ГПК в присутствии металлопорфиринов гораздо выше, чем скорость некатализируемого окисления.

Исследовано каталитическое окисление изопропилбензола молекулярным кислородом в присутствии тетрафенилпорфинов Co, Cu, Zn, In, Sn, Al [38]. Показано, что тетрафенилпорфины Co, Cu и Zn являются очень активными катализаторами, так как наряду с активацией кислорода катализируют распад гидропероксида изопропилбензола. Тетрафенилпорфины In, Sn, Al менее активны

в изученной реакции, поскольку они не катализируют распад гидропероксида. Найдено, что каталитическая активность тетрафенилпорфинов металлов изменяется антибатно их потенциалам электрохимического окисления, за исключением тетрафенилпорфина Cu.

При окислении углеводородов молекулярным кислородом исследователи обычно не делают разграничений между кислородом, растворённым в углеводороде, и кислородом из газовой фазы. В работе [39] на этом делается акцент и описывается специально спланированный цикл экспериментов по окислению окисления кумола с целью проверки, как растворенный кислород O_2 влияет на селективность и для получения доказательств о том, что возможно ли образование ГПК на границе раздела фаз газ–жидкость. Эксперименты проводили в стеклянном прямоточном реакторе барботажного типа в непрерывном режиме, т. е. с непрерывной подачей сырья и воздуха и с непрерывным отводом получаемого оксидата. Окисление осуществляли в течение нескольких часов до полной стабилизации состава продуктов в реакторе, т. е. до постоянной концентрации ГПК и побочных продуктов в реакторе и на выходе из реактора. На выходе из реактора концентрация кислорода в отходящих газах поддерживалась на уровне ~3–5 %, что обеспечивало избыток кислорода в сравнении с требуемым по стехиометрии для превращения кумола, а также обеспечивало протекание реакции в режимах, обычно имеющих место в промышленных реакторах. Было установлено:

1) окисление кумола протекает по двум направлениям: за счет кислорода газовой фазы, находящегося на границе раздела газ–жидкость, и за счет растворенного в реакционной среде кислорода;

2) в образовании ГПК роль кислорода из газовой фазы значительно превалирует: соотношение скоростей образования ГПК $WO_2^r / WO_2^{ж} \gg 10$;

3) растворенный в реакционной среде кислород является ключевым фактором, приводящим к образованию побочных продуктов окисления кумола и снижающим селективность процесса;

4) увеличение давления, приводящее к заметному изменению размера, скорости подъема и общей поверхности пузырьков приводит к росту скорости окисления кумола и съема ГПК с единицы объема реактора, но одновременно вызывает снижение селективности окисления кумола в ГПК;

5) предельное значение давления для достижения оптимальных величин съема ГПК и селективности окисления кумола лежит в интервале 4–5 атм при температуре 100–110 °С.

В заключение обзора хотелось бы отметить серию интересных работ, вышедших совсем недавно, по аэробному окислению кумола в присутствии углеродных нанотрубок (УНТ) [40; 41]. В работе [40] для жидкофазного аэробного окисления кумола в гидропероксид в качестве активных добавок были использованы коммерческие образцы УНТ. Реакцию проводили при различных температурах, концентрациях УНТ, скорости подачи кислорода. Было неожиданно установлено, что УНТ проявляют значительную каталитическую активность: при конверсии

кумола 24,1 % селективность по ГПК составляет 88,4 %, что практически совпадает с параметрами окисления кумола в присутствии известных металлических катализаторов. Предлагается радикальная схема процесса, где активное генерирование свободных радикалов, как считают авторы, происходит за счёт распада ГПК, индуцированного УНТ. Эти факты противоречат результатам наших исследований [42–45], где на примере также коммерческих УНТ (CNT-MW(1b)) и инициированного азобисизобутиронитрилом окисления кумола мы показали, что УНТ, свободные от металлических включений, как и фуллерены [43; 46–48] обладают антиокислительной активностью.

Кислородсодержащие функциональные группы УНТ оказывают негативное воздействие на процесс окисления кумола, вследствие локализации электронов на дефектных участках поверхности УНТ, где и происходит активное образование функциональных групп [40]. Кроме того, авторы работы отмечают, что катализаторы не теряют своей активности даже после пятикратного повторного использования.

Продолжая начатые исследования, в работе [41] авторы исследуют в реакции аэробного окисления кумола образцы, допированные азотсодержащими фрагментами (НУНТ), где также фиксируют их высокую каталитическую активность. Они утверждают, что открыли новый класс неметаллических катализаторов, проявляющих высокий каталитический потенциал в реакции аэробного окисления кумола. Как и в работе [40], активность катализаторов связывается с индуцированным распадом ГПК в присутствии НУНТ. Особо отмечаются высокие конверсии процесса и селективность по образованию ацетофенона и 2-бензил-2 пропанола.

Введение азотсодержащих групп меняет электронную структуру УНТ и способствует повышению каталитической активности, однако число оборотов катализатора снижается до 4 пунктов.

Выводы

1. Процесс окисления кумола молекулярным кислородом в присутствии различных пероксидных и азотсодержащих инициаторов, металлических и неметаллических каталитических систем протекает, как правило, по свободно-радикальному цепному механизму через обязательную стадию образования гидропероксида.

2. Для селективного окисления кумола в гидропероксид процесс проводится в присутствии катализаторов, обеспечивающих низкие температуры протекания процесса, инертность по отношению к распаду гидропероксида и низкую чувствительность к примесям, содержащимся в углеводороде.

3. Нанопорошки переходных металлов являются перспективными объектами в качестве активных катализаторов аэробного окисления кумола.

4. Учитывая масштабы производства фенола и ацетона, решение проблемы интенсификации реакции окисления кумола с использованием N-гидроксифта-

лимида и его аналогов в качестве активных компонентов может существенно улучшить экономические показатели известного процесса.

5. Металлсодержащие тетрафенилпорфирины являются эффективными катализаторами аэробного окисления кумола. При этом тетрафенилпорфирины In, Sn и Al не катализируют распад гидропероксидов.

6. При окислении кумола кислород из газовой фазы играет основную роль в образовании ГПК, в то время как растворенный кислород участвует в образовании побочных продуктов окисления, снижающих селективность процесса по основным компонентам.

7. Кислородсодержащие функциональные группы углеродных нанотрубок оказывают негативное воздействие на процесс окисления кумола, вследствие локализации электронов на дефектных участках поверхности катализатора.

Литература

1. Suresh A. K., Sharma M. M., Sridhar T. // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2000. Vol. 39, N 11. P. 3958–3997.
2. Литвинцев И. Ю. // Соросовский образовательный журн. 2004. Т. 8, № 1. С. 24–31.
3. Kanjina W., Trakarnpruk W. // *J. of Metals, Materials and Minerals.* 2010. Vol. 20, N 2. P. 29–34.
4. Максимов А. Л., Кардашева Ю. С., Предеина В. В. и др. // *Нефтехимия.* 2012. Т. 52, № 5. С. 353–361.
5. Козлов Ю. Н., Гонзалез-Куэрво Л., Шульпин Г. Б. // *Журн. физ. химии.* 2003. Т. 77, № 4. С. 652–656.
6. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / Eds. by G. Goor, J. Glenneberg, S. Jacobi. Weinheim: Wiley – VCH, 2000.
7. Martín S. E., Garrone A. // *Tetrahedron letters.* 2003. Vol. 44, N 3. P. 549–552.
8. Семенов Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М.: АН СССР, 1958. – 685 с.
9. Кондратьев В. Н., Никитин Е. Е. Кинетика и механизм газофазных реакций. М.: Наука, 1974. – 558 с.
10. Эмануэль Н. М., Денисов Е. Т., Майзус З. К. Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе. М.: Наука, 1965. – 375 с.
11. Sheldon R. A., Kochi J. K. *Metal-catalyzed oxidations of organic compounds.* New York: Academic Press, 1981. – 424 p.
12. Sheldon R. A., Dakka J. // *Catal. Today.* 1994. Vol. 19. P. 215–245.
13. Зейналов Э. Б., Васнецова О. А. Кинетический скрининг ингибиторов радикальных реакций. Баку: Элм, 1993. – 228 с.
14. Ларин Л. В., Егорова Е. В., Ананьева Е. А. // *Вестн. МИТХТ.* 2008. Т. 3, № 3. С. 52–59.
15. Дорогощинский А. З., Епифанова А. Г., Брук А. Ю. // *Изв. Центра высш. школы. Естеств. науки.* 1984. № 3. С. 34–38.
16. Симанов В. А., Немцов Н. Н. // *Журн. орган. хим.* 1960. Т. 32. С. 58–61.
17. Паничева Л. П., Турнаева Е. А., Паничев С. А., Юффа А. Я. // *Нефтехимия.* 1998. Т. 38, № 4. С. 289–293.
18. Паничева Л. П., Турнаева Е. А., Паничев С. А., Юффа А. Я. // *Нефтехимия.* 1998. Т. 38, № 3. С. 179–184.
19. Цыковский В. К., Москович Ю. Л. // *Кинетика и катализ.* 1974. № 6. С. 25–26.
20. Стоянова Л. Ф. Интенсификация процесса окисления изопропилбензола до гидропероксида: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 05.17.04. Казань, 1997. С. 18.
21. Недосенко А. В., Червинский К. А. // *Хим. пром-ть.* 1971. № 7. С. 25–26.
22. Опейда И. А., Залевская Н. М. // *Нефтехимия.* 2000. Т. 40, № 2. С. 116–122.

23. Опейда И. А., Помещенко А. И., Ефимова И. В. // Журн. физ. химии. 2004. Т. 78, № 1. С. 1976–1979.
24. Опейда И. А., Залевская Н. М., Туровская Е. Н. // Нефтехимия. 2004. Т. 44, № 5. С. 358–363.
25. Скороходова Т. С., Коботаева Н. С., Сироткина Е. Е. // Журн. прикл. химии. 2005. Т. 78, № 5. С. 767–771.
26. Федущак Т. А., Сизова Н. В., Величкина Л. М. // Журн. физ. химии. 2009. Т. 83, № 8. С. 1531–1538.
27. Кошель Г. Н., Смирнова Е. В., Курганова Е. А. и др. // Катализ в промышленности. 2010. № 3. С. 26–29.
28. Кошель Г. Н., Смирнова Е. В., Курганова Е. А. и др. // Катализ в промышленности. 2012. № 1. С. 7–11.
29. Порта О., Миниши Ф., Пунта К., Рекуперо Ф., Гамбаротти К., Спаччини Р. (изобретатели, IT), Поликарпов А.В., Борисова Е.Н. (представители, RU). ЕА Patent № 018393, 30.07.2013.
30. Ishii Y. A. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 1997. Vol. 117, N 1. P. 123–137.
31. Aoki Y., Sakaguchi S., Ishii Y. // Advanced Synthesis & Catalysis. 2004. Vol. 346, N 2–3. P. 199–202.
32. Fukuda O., Sakaguchi S., Ishii Y. // Advanced Synthesis & Catalysis. 2001. Vol. 343, N 8. P. 809–813.
33. Sheldon R. A., Arends I. W. // Advanced Synthesis & Catalysis. 2004. Vol. 346, N 9–10. P. 1051–1071.
34. Minisci F., Recupero F., Pedulli G. F., Lucarini M. // J. of Molecular Catalysis. A: Chemical. 2003. Vol. 204. P. 63–90.
35. Minisci F., Punta C., Recupero F. // J. of Molecular Catalysis A: Chemical. 2006. Vol. 251, N 1. P. 129–149.
36. Recupero F., Punta C. // Chemical reviews. 2007. Vol. 107, N 9. P. 3800–3842.
37. Янг В. Ю., Гу К. Ч., Тао Н. Е., Као Ю. // Кинетика и катализ. 2010. Т. 51, № 21. С. 210–215.
38. Коботаева Н. С., Скороходова Т. С., Микубаева Е. В., Сироткина Е. Е. // Изв. Томского политехн. ун-та. 2008. Т. 312, № 3. С. 91–95.
39. Закошанский В. М., Бударев А. В. // Журн. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. 2008. Т. 52, № 4. С. 72–88.
40. Liao S., Peng F., Yu H., Wang H. // Applied Catalysis A: General. 2014. Vol. 478. P. 1–8.
41. Liao S., Chi Y., Yu H. et al. // Chem. Cat. Chem, 2014. Vol. 6, N 2. P. 555–560.
42. Zeynalov E. B., Friedrich J. F. // Polymers & Polymer Composites. 2006. Vol. 14, N 8. P. 779–785.
43. Zeynalov E. B., Friedrich J. F. // Materials Testing (Materials and Components, Technology and Application) section Polymer Materials. 2007. Vol. 49, N 5. P. 265–270.
44. Zeynalov E. B., Friedrich J. F. // The Open Materials Science J. 2008. Vol. 2. P. 28–34.
45. Zeynalov E. B., Aliyeva A. Z., Friedrich J. F. // Materials Testing (Materials and Components, Technology and Application) section Nanotechnology and Polymer Materials. 2009. Vol. 51, N 4. P. 210–214.
46. Zeynalov E. B., Koßmehl G. // Polymer Degradation and Stability. 2001. Vol. 71, N 2. P. 197–202.
47. Zeynalov E. B., Magerramova M. Ya., Ishenko N. Ya. // Iranian Polymer J. 2004. Vol. 13, N 2. P. 143–148.
48. Zeynalov E. B., Allen N. S., Salmanova N. I. // Polymer Degradation and Stability. 2009. Vol. 94, N 8. P. 1183–1189.

ELDAR ZEYNALOV, MATANAT MAGERRAMOVA

OXIDATION OF ISOPROPYLBENZENE

Summary

The short review on oxidation of cumene by molecular dioxygen has been compiled. There has been deduced that the investigator's efforts are steered in the essence by selection of effective initiators and catalytic systems providing selective oxidation of cumene to the respective hydroperoxide. Preferable catalysts are those of suppressing a ramification of kinetic chains and blocking the inhibitory action of the reaction products.

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

УДК 52(091); 52(092)

Н. Н. КОСТЮКОВИЧ

НАБЛЮДЕНИЕ АНГЛИЙСКИМИ АСТРОНОМАМИ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 21 АВГУСТА 1914 ГОДА В МИНСКЕ: ПРЕДЫСТОРИЯ, ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, СУДЬБЫ

Исполнительная дирекция БРФФИ

(Продолжение. Начало в № 4 за 2014 г.)

(Поступила в редакцию 20.08.2015)

Три века на картах затменной Европы

Кто и когда первым предсказал, что в августе 1914 г. полоса полного затмения Солнца в очередной раз пройдет через Минск и его окрестности, установить не просто. Тем более что столица современной Беларуси появилась на европейских картах полных и кольцеобразных (когда лунный диск меньше солнечного) затмений почти 310 лет назад.

Первой, среди обнаруженных нами двух дюжин, была упомянутая выше карта географии полного солнечного затмения 12 мая 1706 г. [31], «точно вырезанная» на меди И. Б. Гоманном с последующей ручной раскраской оттисков акварелью.

Стать рисовальщиком и гравером Гоманн не собирался – жизнь заставила [51; 52]. Будучи католиком, он готовился стать монахом и провел ряд лет в монастырях. Измученный сомнениями в вере, в 1687 г. Иоганн ушел из монастыря и попросил убежища в Нюрнберге, первом из городов Германии, принявших лютеранство. Беглецу помогли с обращением в новую религию, обеспечили жильем, едой и одеждой. Затем он зарабатывал на жизнь у гравера, иллюстратора и издателя Якоба фон Зандрарта (1630–1708), первого директора Нюрнбергской академии изобразительных искусств, существующей и поныне. Вскоре ученик достиг такой сноровки, что его имя ставили на картах и книжных иллюстрациях. Он взял в жены дочь местного проповедника, получил нюрнбергское гражданство и место нотариуса, а его основным заказчиком как гравера стал зять фон Зандрарта.

Казалось, жизнь наладилась. Но в 1693 г. тайно, в монастыре в Вене, Гоманн заявил о раскаянии и возвращении в католичество. Когда о том прознали нюрнбергцы, работы для «обратившегося в папизм» не стало, и в начале 1695 г. он со старшим двухлетним сыном покинул город, начав кочевую жизнь. Отдав сына

в чужие руки, вскоре он осел в Лейпциге, где записался в студенты университета и вновь занялся гравировкой. В 1697 г. его тесть, впавший в меланхолию под градом тяжких упреков со стороны городских властей, покончил жизнь самоубийством. Осознав свою вину, Гоманн стал слать просьбы о восстановлении в правах гражданина и члена евангелической общины Нюрнберга. Далеко не сразу, веротступнику позволили вернуться.

В 1702 г. И. Б. Гоманн открыл картографическую мастерскую. Через год его карты продавались на Лейпцигской новогодней ярмарке, а в 1707 г. их оказалось достаточно для издания атласа. В нем из 40 карт четыре астрономических созданы совместно с И. Г. Доппельмайером, причем карт Европы две – одна без, а другая с атрибутами затмения 12 мая 1706 г. На последней Минск расположен ниже южной границы полной фазы затмения, чуть севернее курсивной линии, отвечающей изофазе «11 zotl» (см. рис. 2). Согласно канону [15], здесь затмение было частным: его магнитуда (в данном случае – доля диаметра диска Солнца, скрытая Луной) равнялась 0,95, а часть площади солнечного диска, закрытая лунным (так называемое потемнение), составляла 94,39 %.

Карта [31] полюбилась ее авторам. Доппельмайер издал «Подробное объяснение двух новых карт Гоманна», адресованное «всем истинным друзьям благородной астрономии для пользы и развлечения» [53]. С 1710 по 1714 г. в трех из четырех переизданий атласа европейский континент представляла лишь карта «затменной» Европы (Europæ Eclipsatae). В 1716 г. Гоманн, уже год носивший звание географа Священной Римской империи при дворе императора Карла VI и члена Прусского королевского научного общества, включил ее в свой шедевр – массивный «Большой атлас всего мира» [54], содержащий 123 карты континентов и стран, планы территорий и городов, небесные карты и схемы. Вряд ли по недосмотру, скорее с намеком на былые прегрешения, в книге лишь на титульном листе вместо VARTIST, второго имени Гоманна, красуется PAPTIST – уничижительный термин, которым звали приверженцев «папизма». И это на труде, посвященном Карлу VI, который открывался портретом императора в полный рост, выгравированным лично издателем!

После смерти И. Б. Гоманна, незадолго до того выполнившего ряд заказов Петра I на карты и получившего от него патент российского агента коммерции в Нюрнберге, переиздание «Большого атласа» продолжили его младший сын Иоганн Кристоф, а затем – другие наследники.

Следующими упомянем две карты кольцеобразного затмения Солнца 25 июля 1748 г.

Тому, что автором одной из них стал немецкий математик, астроном и географ Георг Мориц Ловиц (1722–1774), удивляться не приходится [55; 56]. Работая у ювелира, он самостоятельно изучал математику и физику, а с 1745 г. вел переписку со знаменитым Леонардом Эйлером (1707–1783), тогдашним директором отделения математики Императорской академии наук в Берлине. В следующем году Георг женился на сестре географа Иоганна Михаэля Франца (1700–1761).

Тот в университетские годы подружился с Иоганном Кристофом Гоманном (1703–1730), а после ранней смерти друга по его завещанию стал и почти 30 лет являлся совладельцем издательства «*Nomännsche Erben*» («Наследники Гоманна») [51; 52]. Кроме Ловица к работе в нем И. М. Франц привлек еще одного самоучку – Тобиаса Майера (1723–1762). Будучи подмастерьем у сапожника – любителя математики, Тобиас за чтением книг мастеру и сам приобрел знания, позволившие ему в 22 года издать «Математический атлас» в 60 диаграммах. Оба юноши стали душой издательства, где создали ряд превосходных карт.

Уже в декабре 1747 г. отпечатали составленные Ловицем два многоцветных плаката, дающих представление о географии будущего затмения Солнца 25 июля 1748 г. На первом, на основе расчетов Л. Эйлера, заслуги которого перечислены в левом нижнем углу плаката, показаны общая схема и зоны затмения на фоне земного шара в разные моменты. Плакат декорирован картушами в стиле рококо, заголовки и пояснения даны на немецком и французском языках и латыни. На втором плакате размещены карта затмения «*Euroga Eclipsata d. XXV. Jul. A. MDCCXXXVIII*» размером 32,4 × 22,8 см, две диаграммы и комментарии на немецком и французском языках. Минск на карте виден на северо-востоке от центральной линии затмения, в первой четверти полосы между изофазами для X и IX digitos. Затмение здесь было частным с магнитудой 0,84, потемнение солнечного диска составляло 78,25 % [15]. Оба плаката вошли в книгу [57], сокращенный перевод которой в том же году вышел в Париже.

Начиная с 1754 г. Эйлер, почти полжизни проработавший в Петербургской академии наук, не раз предлагал Г. М. Ловицу выдвинуть его на должность академика. Тот не соглашался: став вместе с Т. Майером профессорами в Геттингене, они занялись изготовлением большущих глобусов. Но вскоре кредиты иссякли, а суровой зимой 1760 г. осаждавшие город французские солдаты пустили готовые каркасы на топливо. Дела пошли еще хуже после смерти в 1762 г. Майера и в 1765 г. – второй жены Ловица. Теперь Георг сам попросил дать ему рекомендации, что Л. Эйлер и сделал, расписав протееже выгоды его нового статуса [58]. В августе 1767 г. Ловиц получил приглашение стать действительным членом российской академии с указанием ожидаемых от него работ, в сентябре выразил Эйлеру готовность «ехать хотя бы на Камчатку», а весной 1768 г. прибыл в Москву с 11-летним сыном (трое других детей от второго брака умерли).

Через год руководимая им экспедиция из 5 человек отправилась на юго-восток Европейской России [59; 60]. Надеясь, что воздух степей пойдет на пользу болезненному сыну, отец взял его с собой в путешествие, которое затянулось на 5 лет и закончилось трагически.

В июне 1769 г. Ловиц со своим помощником адъютантом П. Б. Иноходцевым (1741–1806), впоследствии академиком, успешно провели в Гурьеве, городке на Каспийском море, наблюдения крайне редкого события – прохождения Венеры по диску Солнца и отправились в Астрахань. Там Ловиц «застрял». От него так долго не было известий, что директор академии граф В. Г. Орлов угрожал «при-

нять крутые меры, если такое положение будет продолжаться». Доброхоты доносили, что академик тратит ассигнованные ему деньги и употребляет приданных солдат на свои личные дела [60]. А из Геттингена извещали, что кредиторы усиленно спрашивают о его местопребывании. В 1772–1774 гг. Ловиц выполнил геодезические съемки в окрестностях г. Дмитриевска (ныне г. Камышин, Россия), совершил несколько поездок по Нижнему Поволжью и немецким колониям. Будучи в Саратове, он женился в третий раз – на дочери колониста, и у них родилась дочь София Мауриция.

Весной 1774 г. экспедиция вплотную приступила к нивелировочным работам в междуречье Волги и Дона, чтобы, как ей и поручалось, «со всей точности» выяснить, можно ли закончить «знатный канал, начатый императором Петром Великим для соединения реки Волги с Доном» [59; 60]. Летом в тех местах появились отряды восставших казаков под предводительством Емельяна Пугачева. Адьютант Иноходцев, бежавший от казачьего произвола в Царицын, сообщал, что академик укрылся с семьей в немецкой колонии неподалеку от Дмитриевска. Но туда «приехали 7 человек яицких казаков и взяли профессора с собой к Илавле, где находился мерской их начальник и там лишен жизни» [61]. Ловица убили 13 августа самым жестоким образом: Пугачев приказал заколоть его пиками и поднять на них в воздух, чтобы астроном «был ближе к звездам» [62]. Захваченных с ним механика, солдата и слугу-колониста также казнили.

Лишь в начале 1775 г. Иноходцев, вдова и сын Ловица – Иоганн Тобиас прибыли в Санкт-Петербург. Мачеха отказалась от воспитания как пасынка, так и дочери, заявив, что заботу о сиротах должна взять на себя Петербургская академия наук, направившая ее мужа в опасную экспедицию. Осенью 1779 г. семилетнюю Софию Маурицию приютило семейство Эйлеров, где она воспитывалась вплоть до своего замужества [63]. Иоганн Тобиас (на русский лад Товий Егорович) от пережитых потрясений более 10 лет страдал эпилепсией. После многих мытарств он смог приобрести знания в области химии и фармации, получил работу в Главной аптеке – первой казенной аптеке в Петербурге, где сделал свои первые открытия, став впоследствии российским академиком, одним из выдающихся ученых-химиков конца XVIII в. Правда, его научным трудам были уготованы долгие годы забвения [56].

Авторство второй прогностической карты затмения Солнца 25 июля 1748 г. более неожиданное.

На основе своих расчетов ее составил голландец Мартен Виллем Хауттёйн (1720–1798), уже староватый для студента 28-летний второкурсник медицинского факультета Лейденского университета [64]. На карте Хауттёйна [65], изданной в духе Э. Галлея – в виде плаката размером 27 × 34 см с пояснениями на латинском и голландском языках, которой торговали в Амстердаме, Лейдене и его родном городе Хорне, синим цветом закрашены полоса лунной тени и изофазы от 2 до 11 «дюймов» (duymen). Сверху вниз проведены серии оцифрованных желтых, красных и зеленых линий, позволяющих определить часы и минуты начала, се-

редины и конца затмения в конкретном пункте. Минск находится за линией «10 duymen». В большем, чем у Ловица, числе на карте показаны другие города Беларуси – Брест, Пинск, Гродно, Новогрудок, Слоним, Мозырь, Рогачев, Орша, Полоцк, Могилев, Мстиславль и др.

В следующем после затмения году Мартен получил степень доктора медицины, но практикующим врачом так и не стал. С 1761 по 1785 г. он издал на голландском языке «Естественную историю, или Подробное описание животных, растений и минералов в соответствии с системой Линнея» в 37 томах. Этот грандиозный труд, насчитывавший в общей сложности 21500 страниц, создан Хауттёйном без чьей-либо помощи, прославил его как ботаника и зоолога, повлиял на аналогичные работы в других странах, но не принес автору богатства. Средства к существованию давала недвижимость, унаследованная от отца, заработки переводами (он знал семь или восемь языков), продажа с аукциона коллекций зоологических и ботанических образцов, которые ученый собирал более 30 лет [64].

Еще одно солнечное затмение М. В. Хауттёйн анонсировал в 1764 г.

Но за два года до того оказалось, что точный прогноз небесного явления, расчет, гравирование, печать и широкое распространение карт затмения – дело уже не исключительно мужское.

Карта трех парижанок и прегрешения молодого итальянца

Доказали это математик-вычислитель и астроном-любитель Николь-Рейн Лепот (1723–1788) [66; 67], которая родилась и жила в Париже в Люксембургском дворце, где ее отец служил у вдовствующей королевы Испании, и еще две парижанки.

Первой расчетной работой мадам Лепот стало составление для заданных частот колебаний (от 1 до 18000 с шагом в 100 колебаний в час) таблицы длин простого маятника (от 3,8 см до 12,9 км!), включенной в 1755 г. в трактат ее мужа – королевского часовщика. Двумя годами ранее они познакомились с Жозефом Жеромом Лефрансуа де Лаландом (1732–1807), юристом по образованию, только что избранным адъюнктом Парижской академии наук, получившим ключи от маленькой обсерватории в куполе Люксембургского дворца и ставшим впоследствии одним из самых знаменитых астрономов Европы [67]. В 1757 г. Ж. Лаланд пригласил Николь-Рейн помочь ему и академику Алекси Клоду Клеро (1713–1765), который еще в 12-летнем возрасте удивил академию наук своими математическими способностями, а в 18 лет стал самым молодым в ее истории адъюнктом, выполнить большой объем вычислений по расчету точной даты возвращения кометы Галлея. Троица вела их полгода, с утра до ночи, иногда даже за едой. Но в своей книге о кометах Клеро «забыл» упомянуть Лепот как участницу расчетов (на том настояла его ревнивая подруга), из-за чего Лаланд полностью разорвал отношения с академиком.

В 1759–1774 гг. Николь-Рейн участвовала в расчетах таблиц для астрономических ежегодников «*Connaissance des temps*», а затем – в подготовке VII и VIII томов «Эфемерид движения небесных тел по меридиану города Парижа». Для второго все расчеты положений Солнца, Луны и планет на небесной сфере на период с 1785 по 1792 г. сделала она одна.

Будучи уже членом Королевской академии наук Безье, в 1762 г. Лепот рассчитала и составила для Европы детальную карту солнечного затмения, ожидавшегося 1 апреля 1764 г. (рис. 3), предсказав, что оно будет кольцеобразным [68]. Его полоса начиналась в Атлантическом океане, проходила по территории десятка государств – от Португалии до России, затем уходила в Северный Ледовитый океан, где за полуостровом Таймыр заканчивалась.

Двухцветный лист размером 66 × 49 см с картой был не раскрашен, а отпечатан наложением оттисков с двух по-разному награвированных медных пластин («досок»). Первую доску – с картой-основой – покрывали светло-коричневой краской (сепией), а вторую – с путем лунной тени, изофазами, двумя картушами и изображениями фаз затмения – черной. Гравировку выполнила мадам Латтр, владевшая с мужем – гравером, издателем карт и книготорговцем Жаном Латтром (ок. 1742–1793) семейной фирмой в Париже. А фигурные картуши вырезала Элизабет Клер Тардьё (1731–1773), жена академика и королевского гравера, известная своими гравюрами-репродукциями с жанровых картин ряда французских художников.

На карте парижанок линия в центре заштрихованной полосы лунной тени соответствует центральному кольцеобразному затмению, а ее границы – моментам двух внутренних касаний диском Луны края диска Солнца. Римские и арабские цифры в центре полосы характеризуют ход затмения по всей Европе и проставле-

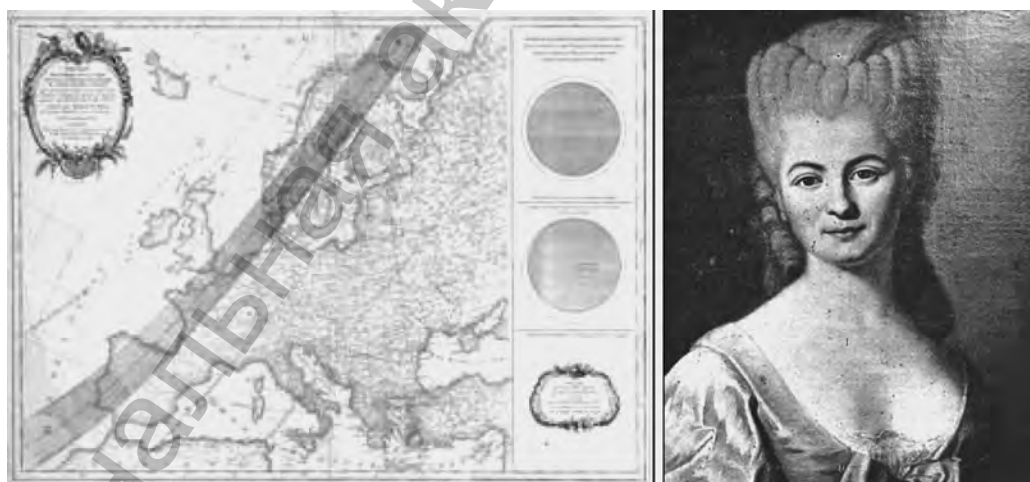


Рис. 3. Карта кольцеобразного солнечного затмения 1 апреля 1764 г. и ее автор – член Королевской академии наук Безье Н.-Р. Лепот

ны с интервалами в 15–30 мин с момента его начала в 10:00 утра на мысе Сент-Винсент и до момента схода лунной тени в 11:30 с северного побережья Лапландии. Минск находится между изофазами, отвечающими 10 и 8 doigts, в последней четверти ширины этой полосы. Здесь затмение было частным с магнитудой 0,72, потемнение солнечного диска составляло 63,47 % [15]. Кроме населенных пунктов Беларуси, перечисленных для карты Хауттёйна, у Лепот можно видеть также Лиду, Борисов, Быхов, Речицу, Любань и др. Справа на листе изображены положения лунного диска на фоне солнечного для двух фаз – центральной и нецентральной и указаны некоторые местности, где должен наблюдаться каждый из этих типов затмения.

Чисто «дамская» карта затмения не осталась незамеченной. В июне 1762 г. о ней подробно рассказали влиятельный ежемесячник «Записки по истории науки и изящных искусств» [68], издававшийся иезуитами, и старейший научно-литературный журнал Европы «Journal des savants» («Журнал ученых»). 12 августа того же года карта вместе с брошюрой Лепот [69] была представлена королю Людовику XV. А позже стала предметом скандала, полицейских обысков и судебных баталий [70], когда Ж. Латтр обвинил итальянского картографа Дж. А. Рицци Дзаннони (1736–1814), в ходе Семилетней войны взятого французами в плен и работавшего у него пару лет, в краже материалов, а парижского инженера Л. Ш. Десноса (1725–1805), издателя огромного количества карт и глобусов, в плагиате – копировании при публикации карты [71] как расчетных данных Н.-Р. Лепот, так и оригинальной технологии двухцветной печати с двух досок.

Последняя история просто анекдотична.

В мае–июне 1763 г. в Лондоне, Эдинбурге и Париже распечатали новость из Польши [72] о смерти в возрасте 108 лет некоей Малгожаты Красёвны, которая в 94 года в третий раз вышла замуж за 105-летнего жителя деревни Цивошин под Сандожем и имела с ним троих детей, о здоровье которых сообщали разные страхи. А в ноябре «оказалось», что это именно мадам Marguerite Krasiowna из Цивошина, отличный знаток физики, математики и астрономии, рассчитала для своей деревни и всей Европы будущее кольцеобразное затмение и вычертила точную карту его хода, которую издал и дешево продает Деснос.

Вскоре открылось, что за женским псевдонимом прятался Рицци Дзаннони, который, рассорившись с Латтром и будучи не в состоянии рассчитать ход затмения, месяцев за десять скопировал карту Лепот. В феврале 1764 г. апелляционный суд Парижа признал Десноса плагиатором, и гравировальные доски карты у него изъяли. Но потом пошли заявления о неидентичности карт, обвинения судей в некомпетентности, прошения проявить снисхождение к «проступку молодого человека» Рицци Дзаннони. Хотя история закончилась мировым соглашением, и плагиаторы повсюду трубили о своей честности, через год вышло в свет опровержение их невиновности [73], давшее новые примеры «картографических прегрешений» итальянца.

Даже столь шумная известность трудов Лепот не помешала появлению 19 марта 1764 г. в старейшей из французских газет «La Gazette de France» уведомления от некоего священника из провинции, что первоапрельское затмение якобы будет полным и «принесет тьму ночи», хотя «не предвещает и не породит ни бесплодия, ни заразы, ни войны, ни страшной катастрофы». Парижская академия наук сразу же опубликовала опровержение, директор столичной обсерватории представил королю записку о кольцеобразности затмения. А через три дня только в Париже разошлись тысячи экземпляров (Ж. Лаланд назвал их количество «умопомрачительным») копий с двух изданий 1762 г. авторства Н.-Р. Лепот – карты затмения для Европы и плаката с изображением последовательности 12 фаз (с интервалами в 15 мин) вначале частного, а затем – кольцеобразного затмения Солнца, как оно будет видно в Париже утром 1 апреля 1764 г.

Через полтора века после смерти Н.-Р. Лепот ее именем названы лунный кратер и астероид (как и для других героев настоящего повествования). А вот с прижизненным увековечением ее памяти в названии экзотического цветка не сложилось, причем эту историю, которая обросла вымыслами и легендами, рассказывают по-разному [74].

Одни полагают, что неизвестный тогда в Европе вид японской розы привез из Восточной Индии и в честь мадам Лепот назвал «лепотией» астроном Парижской обсерватории Гийом Лежантиль (1725–1792), вернувшийся в октябре 1771 г. из «вояжа по индийским морям», затянувшегося на 11,5 лет. По указу короля он отплыл во французскую колонию в Индии, чтобы наблюдать в 1761 г. прохождение Венеры по диску Солнца. Экспедиция сорвалась, ибо места наблюдений были осаждены войсками англичан. Отложив возвращение в Париж, Лежантиль 8 лет прождал следующего транзита Венеры, посвятив эти годы изучению флоры и фауны, географии и этнографии Мадагаскара, Филиппин, юга Индии, островов Маврикий, Реюньон и др. Одних коллекций морских диковинок, собранных им, набралось 8 ящиков. Правда, в 1769 г. его вновь поджидал злой рок – в момент наблюдений злосчастное облако закрыло Солнце.

Согласно другим, сходное название тому же растению дал врач и натуралист Филибер Коммерсон (1727–1773), участник первой французской кругосветной экспедиции, куда его рекомендовал друг детства Ж. Лаланд. С конца 1768 г., с перерывами, и вновь с начала 1772 г. Коммерсон жил на о. Маврикий, изучал тамошнюю растительность, выезжал с той же целью на другие острова. Весной 1771 г. на о. Реюньон он и увидел великолепный цветок, который сначала назвал «потия селестина» в честь красавицы-астронома, коллеги Лаланда. Незадолго до своей смерти, вновь увидев это растение в саду у миссионеров, он заменил без особых объяснений название на «гортензия», которое и прижилось. Оба эти названия начертаны на одном из листов гербария Ф. Коммерсона, а Лепот даже сегодня иногда авторитетно называют Гортензией, полагая, что это ее второе имя.

В начале XIX в., сохраняя предложенную Н.-Р. Лепот схему компоновки материалов (см. рис. 3), в Париже издали карту кольцеобразного солнечного затме-

ния 7 сентября 1820 г. [75], на которой в очередной раз видны Минск и другие города Беларуси. А еще через 30 лет мода на картирование солнечных затмений дошла до Российской империи, причем первопроходцем оказался астроном-самоучка.

«Понравилось ли вам, дети, затмение? – Нет, папенька!»

В январе 1850 г. уже упоминавшийся Ф. А. Семенов, «ученый мясник-астроном» [45], составил первую российскую карту хода затмения Солнца и комментарии к ней, которые его приятель профессор Д. М. Перевощиков направил для публикации в учено-литературный журнал «Москвитянин». Карту-прогноз полного солнечного затмения 28 июля 1851 г. с объяснительной статьей опубликовали в его майском номере [76].

На карте астроном-самоучка изобразил часть северного полушария Земли, а на ней «с геометрической точностью» отметил штриховкой полосу полной фазы затмения, имевшую в разных местах ширину от 210 до 250 км и длину около 12 тыс. км. В полосе показаны только главные города России, Швеции, Дании и Пруссии, но в статье описаны возможности наблюдать небесное явление на территории 8 губерний. Автор карты сообщал, что в местах, обозначенных вне заштрихованной полосы (в том числе, в Минске и Гродно), будет видно «очень большое затмение солнца, но не полное». О его величине позволяют судить проведенные на карте две кривые, являющиеся (по 10-балльной шкале) изофазами со значениями «9/10 частей солнечного поперечника». Согласно [76], на этих кривых «останется непомяченного солнца только 1/10 часть», а в местах, лежащих ближе к полосе полной фазы, например в Минске, «увидят затмение более 9/10 частей солнечного поперечника». И действительно, для Минска магнитуда частного затмения составляла 0,98, а потемнение солнечного диска – 97,8 % [15].

Карту вместе со статьей Семенов представил также в Императорское Русское географическое общество (ИРГО), а то поручило рассмотреть сей «любопытный труд» профессору Санкт-Петербургского университета, впоследствии академику А. И. Савичу (1810–1883). Рецензент нашел, что вычисления «оказались вполне точными и могут служить полезным для наблюдателей руководством», предложил выделить Семенову средства для совершения путешествия в одно из мест России, где затмение будет полным, а оттиски карты и статьи разослать членам общества.

С учетом отзыва, тогдашний вице-председатель ИРГО – бывший могилевский, гродненский и курский губернатор М. Н. Муравьев (1796–1866) (тот, который «вешатель») обратился к министру внутренних дел с ходатайством, итогом которого стало издание указа императора Николая I о причислении Ф. А. Семенова к потомственному почетному гражданству. Совет же общества признал самоучку членом-сотрудником ИРГО, поручил опубликовать карту и статью в «Географических известиях» [77] «с предоставлением в пользу автора отдельных оттисков его статьи, в числе 100 экземпляров».

В том же году ИРГО решило участвовать в наблюдениях над будущим затмением Солнца, избрав для этой цели Махновку в Киевской и Брест-Литовск в Гродненской губерниях, где оно ожидалось наиболее продолжительным. В Брест собирались ехать Савич и Семенов, но эту экспедицию отменили и отправили их в Херсонскую губернию.

География публикации карт, показывающих расположение Минска относительно путей, пробегаемых лунной тенью по земной поверхности, перешагнула Атлантику в связи с полным солнечным затмением 19 августа 1887 г.: такую карту опубликовал еженедельник «Scientific American» [78], один из старейших научно-популярных журналов в мире. А в России их составлением и изданием занялись профессиональные астрономы и картографы.

В отличие от четырех предыдущих затмений, когда тень Луны в основном пробегала по поверхности океанов (как и 20 марта 2015 г.), в 1887 г. его полоса почти полностью была континентальной. Полная фаза затмения ожидалась над необычайно протяженным участком территории Российской империи шириной около 160 км. Поэтому в ее различные регионы отправились десятки научных экспедиций, а на центральной линии полосы лунной тени разместились около 50 наблюдателей из США, Великобритании, Германии и Италии. Однако это затмение запомнилось специалистам не только масштабными, как никогда ранее, приготовлениями, но и постигшим их крахом надежд – из-за рекордно неблагоприятных погодных условий в полосе полного затмения.

Свыше полутора лет к наблюдению небесного явления готовилось физическое отделение Русского физико-химического общества (РФХО). Вопрос обсуждали на общем собрании РФХО еще в декабре 1885 г., а через месяц создали комиссию для организации наблюдений под председательством профессора физики в Военно-медицинской академии Н. Г. Егорова (1849–1919). Обязанности секретаря взял на себя математик и астроном Иосиф Андреевич Клейбер (1863–1892), недавний выпускник Петербургского университета [79].

Сын богатых столичных купца и домовладелицы из осевших в России немцев, с детства отличавшийся выдающимися способностями, Иосиф был принят на физико-математический факультет по особому разрешению в возрасте 16 лет. Он дважды награждался медалями за студенческие сочинения, активно участвовал в работе научного отдела Студенческого научно-литературного общества, и будучи оставлен для подготовки к профессорскому званию, возглавил научный отдел. Но общество закрыли, когда позже выяснилось, что все главные участники покушения 1 марта 1886 г. на императора Александра III – его члены, а один из самых деятельных руководителей заговора – А. И. Ульянов, старший брат В. И. Ленина, – был секретарем научного отдела [80].

В январе 1887 г. на заседании физического отделения РФХО И. А. Клейбер показал составленную им географическую карту мест, где будет наблюдаться полное затмение. А в мае членам общества разослали две его брошюры о предстоящем природном явлении. Одна – 40-страничная, с 2 картами, по цене 30 коп. –

была издана физическим отделением тиражом в 3000 экз. [81]; другая – 16-страничное «издание для народа» – закуплена РФХО в количестве 5000 экз. по цене 1,5 коп. Тогда же Н. Г. Егоров выступил с отчетом, в котором изложил планы исследований затмения (телескопических, фотометрических, фотографических, спектроскопических, полярископических) и привел список губернских и уездных городов, где будет видна его полная фаза. В их число попали Гродно, Лида, Ошмяны, Вилейка, Дрисса, Дисна, Лепель, Полоцк, Сенно, Городок, Витебск, Щучин. Публикацию отчета [82] сопровождали две подробные карты-вклейки полного солнечного затмения 19 августа 1887 г., составленные Клейбером, – одна для всей Российской империи, другая – для Европейской России.

На первой, имеющей размеры $50,5 \times 30$ см и масштаб $1 : 16500000$, от центра Германии до Японского моря тремя линиями прочерчена полоса затмения, а по обе стороны от нее – изофазы, на которых Луной будет покрыто $3/4$ и $1/2$ видимого диска Солнца. Цифры над северной границей полосы дают продолжительность (через каждые 5 с) полной фазы в точках центральной линии, а пересекающие полосу отрезки и относящиеся к ним цифры – среднее местное время полного затмения. Вторая карта имеет размеры $42,5 \times 49$ см, масштаб $1 : 7350000$ и те же атрибуты полосы затмения. Но кроме Минска, в котором затмение было практически полным (магнитуда – 0,99, потемнение солнечного диска – 99,48 % [15]), на ней обозначены также Гродно, Витебск, Лида, Новогрудок, Вилейка, Слуцк, Игумен, Борисов, Лепель, Сенно и Могилев.

Обе карты издало Картографическое заведение А. Ильина – первое специализированное картографическое предприятие в России, которое основали в 1859 г. два офицера Генерального штаба – полковник В. А. Полторацкий (1830–1886) и капитан А. Аф. Ильин (1832–1889). Карты продавались (в том числе с пересылкой) отдельно от брошюры в редакции журнала «Русское богатство» и давали как профессионалам, так и любителям возможность выбрать в полосе затмения пункты, удобные с наблюдательной точки зрения.

Кроме средств, ассигнованных самим РФХО, в феврале 1887 г. в качестве пособия на снаряжение экспедиций 1000 руб. прислал титулярный советник Ф. И. Базилевский, потомственный золотопромышленник и меценат. В марте император Александр III, которому доложили о научном значении предстоящего события и расходах, сопряженных с устройством наблюдательных станций, пожаловал физическому отделению РФХО на эти цели 5000 руб. Министерство почт и телеграфов предоставило экспедициям право бесплатно обмениваться телеграммами в день наблюдений.

Большим подспорьем стали предоставленные участникам затменных экспедиций и просто любопытствующим льготы по проезду на места наблюдений и по перевозке оборудования. Например, Управление Либаво-Роменской железной дороги снарядило экстренный поезд из Минска за половинную плату для желающих наблюдать полное затмение Солнца в Вильно; в ночь перед затмением туда отправился состав с 200 пассажирами. Тот же И. А. Клейбер, прибывший

в начале августа 1887 г. с двумя итальянскими астрономами в Вятскую губернию, смог привезти с собой инструменты, весившие в сумме более 480 кг. Для транспортировки экспедиции к пункту наблюдения известный купец, судовладелец и меценат Т. Ф. Булычев предоставил один из своих пароходов.

Своевременно вышедшая несколькими изданиями брошюра Клейбера [81], другие общедоступные книжные издания, журнальные инструкции и наставления для наблюдателей, газетные статьи и публичные лекции популярно разъясняли населению причины небесного явления, к которому иные обыватели относились с тревогой. Снять эту тревогу пробовали и с привлечением «административного ресурса».

Например, Тобольское губернское правление отпечатало извещение за подписью губернатора о предстоящем затмении и направило его для обнародования «исправникам и полицмейстеру, в полицейские управления, ко всем земским заседателям и городским приказным. ... чиновникам по крестьянским делам, в волостные управления и иногородческие управы, затем в духовную консисторию...» [83]. Администрацией Енисейской губернии на видных местах городов и селений были расклеены объявления с изложением причин, описанием картины, указанием времени начала, середины и конца этого необычайного явления. Редакции Новгородских и Енисейских губернских «Ведомостей» разослали подписчикам в виде «особого прибавления» перепечатанную из столичного «Правительственного вестника» статью о затмении. Циркуляром от 16 мая 1887 г. министерство внутренних дел направило для распечатания брошюру о предстоящем затмении и предписало принять другие меры, которые на местах посчитают целесообразными. Наконец, «Томские епархиальные ведомости» по распоряжению Епархиального Пресвященного поместили 1 июля обстоятельную статью [84] «с тем, чтобы духовенство заблаговременно оповестило своих прихожан о предстоящем явлении природы и простыми вразумлениями постаралось устранить могущие возникнуть в народе ложные страхи, смятение и пр.».

И все же, как свидетельствовал очевидец – писатель В. Г. Короленко [85], о съехавшихся на места наблюдений «астроломах» отзывались «частью даже враждебно, как будто поднятая ими суета и непонятные приготовления сами по себе могут накликать грозное явление». И к мелькавшей среди простой публики брошюре о солнечном затмении большинство относилось «сдержанно и даже с оттенком холодной вражды. Люди же «старой веры» избегали брать ее в руки и предостерегали других». Хотя публике в целом явление затмения не казалось на этот раз чем-то сверхъестественным и ужасным, как отметил издатель первого российского физико-математического научно-популярного журнала, «все-таки нашлась в России одна девушка, пожелавшая по этому случаю повеситься» [86].

Ожидавшийся с таким нетерпением день затмения обманул возлагавшиеся на него надежды. При весьма хорошей экипировке станций и солидной подготовке большого числа наблюдателей, из-за на редкость неблагоприятных метеоусловий только в единичных случаях явление наблюдали в подробностях.

Не смог произвести какие-либо астрономические наблюдения и И. А. Клейбер. «Все приготовления оказались напрасными, так как облака закрыли во время затмения все небо и во время полной фазы даже не видно было, где находится солнце, – писал он в отчете. – На интеллигентных людей, окружающих обсерваторию затмение не произвело иного впечатления, кроме досады на упущенное зрелище» [87]. Один из досадовавших интеллигентов Вятки, вставший с детьми в 5 часов утра, но после долгих томительных ожиданий так и не увидевший величественной картины затмения, написал в губернские «Ведомости» гневную статью, которую закончил изложением диалога: «Понравилось ли вам, дети, затмение? – Нет, папенька! – А хотите ли вы еще его увидеть? – Нет, мы больше не хотим!» [88].

Через год приват-доцент И. А. Клейбер, уже проявивший себя как одаренный ученый в области математики, астрономии, физики метеорных явлений и метеорологии, в своей магистерской диссертации пионерски применил теорию вероятностей к статистике общественной жизни. Заинтересовавшись постановкой математических исследований в Великобритании, в июне 1888 г. он приехал в Кембриджский университет, где провел год и запомнился многим своим энтузиазмом и трудолюбием, заслужив титул «математического Геркулеса» [89]. В 1891 г. он издал капитальный труд «Определение орбит метеорных потоков», который был принят в качестве докторской диссертации. Но защитить ее он уже не успел. Серьезно заболев в мае «новой эпидемической болезнью, которая появилась в Петербурге, именно – “инфлюэнцией”» [79], перешедшей затем в скоротечную чахотку, в феврале 1892 г. Клейбер скончался в Ницце.

Время профессионалов: с заботой о странствующих астрономах

Последнее в XIX в. полное затмение Солнца, полоса которого прошла по территории Российской империи, было 9 августа 1896 г.

Стартовав в Норвежском море, путь лунной тени протянулся от Лапландии, через Новую Землю, полуостров Ямал, устья рек Оби и Енисея, северо-восточную Сибирь, низовья Амура, южную оконечность Сахалина до Японии и закончился в Тихом океане. Его большая часть проходила по суше, но теперь – преимущественно через труднодоступные и малонаселенные места. Рассчитывать на присутствие в малоизученной части Сибири местных опытных наблюдателей или наплыва на Дальний Восток в точку максимальной длительности затмения большого числа специалистов, снабженных сложными, дорогими и тяжелыми приборами, не приходилось. Поэтому число затменных экспедиций было невелико, готовились они заблаговременно и тщательно.

Еще 17 мая 1894 г. академик О. А. Баклунд (1846–1916), оказавший большую помощь участникам английской затменной экспедиции, прибывшей через 20 лет в Минск, на заседании физико-математического отделения Императорской академии наук доложил о предстоящих работах по наблюдению затмения. Позже

Академия организовала два экспедиционных отряда, опорными пунктами наблюдений для которых избрали становище на Новой Земле и село Орловское на Дальнем Востоке, возложив общее руководство работами на Баклунда. Через год при ИРГО создали Комиссию по вопросу о наблюдении полного солнечного затмения под председательством генерал-лейтенанта Генерального штаба А. А. Тилло (1839–1899), картографа, геодезиста и географа, деятельного члена общества с 23-летнего возраста, а при Русском астрономическом обществе – Комиссию по устройству наблюдений полного солнечного затмения, которую возглавил профессор Н. Г. Егоров.

В этот раз исключительно подробную в отношении реквизитов затмения карту для Российской империи (рис. 4) на основе собственных вычислений составил профессионал – астроном-геодезист Готтлиб Фридрих Теодор Витрам (1854–1915) [90]. Уроженец Риги, выпускник Дерптского университета, доктор астрономии, действительный член географического и астрономического обществ, с 1878 г. он всю жизнь проработал в Николаевской Главной астрономической обсерватории



Рис. 4. Фрагмент карты Ф. Ф. Витрама для полного солнечного затмения 9 августа 1896 г.

в Пулково, пригороде Петербурга, где прошел все ступени службы – от сверхштатного астронома, вычислителя и адьюнкта до старшего астронома. Одновременно с 1887 г. Витрам (на русский манер Федор Федорович) ординарный (с 1912 г. заслуженный) профессор геодезического отделения Николаевской академии Генерального штаба, с 1891 г. совещательный астроном военно-топографического отдела Генерального штаба и с 1895 г. – отдела гидрографии Морского министерства.

На витрамовской карте [91], географическую основу масштаба 1 : 16500000 для которой вновь предоставило и саму карту затмения отпечатало Картографическое заведение А. Ильина, нанесены полоса полного затмения, идущая от Норвегии до острова Хоккайдо и прочерченная тремя красными линиями, с указанием на ней продолжительности полной фазы в секундах, а также специальные кривые, характеризующие все подробности астрономического явления. Пунктирные красные кривые, приблизительно параллельные полосе затмения, соответствуют магнитудам затмения 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 к югу от центральной линии и 0,8 и 0,6 – к северу от нее. Слева от линии Рига–Минск–Киев–Симферополь проведена синяя пунктирная линия, соединяющая места, в которых затмение начинается при восходе Солнца; юго-западнее ее оно взойдет уже затемненным. Наконец, вся площадь карты покрыта сетью сине-красных петлеобразных кривых-изохрон, по которым для любого места без всякого вычисления могут быть определены моменты начала и конца затмения с точностью до 1–2 мин. Обозначенные на карте Минск, Брест, Гродно, Витебск, Могилев расположились между изофазами 0,8 и 0,6, в них затмение наблюдалось как частное. В Минске оно имело магнитуду 0,65, а потемнение солнечного диска составило только 57,33 % [15].

Составлением и публикацией карты Ф. Ф. Витрам не ограничился. В марте 1896 г. им в соавторстве была опубликована в журнале и издана отдельной брошюрой инструкция для наблюдения августовского затмения [92]. Ее особый раздел включал советы по обозрению окрестностей затемненного светила, что могло привести к открытию новых небесных тел. В этих целях на приложенную к инструкции карту нанесены звезды от 1-й (наиболее яркие) до 6-й величины, что будут находиться во время затмения вблизи Солнца. Тогда еще не догадывались, что сравнение их положений во время затмения и на том же участке ночного звездного неба приведет к обнаружению явления искривления лучей света в поле тяготения.

Витрам стал также одним из трех членов экспедиции, снаряженной Пулковской обсерваторией для наблюдения полного солнечного затмения в с. Орловское на Амуре, которая обошлась, включая расходы на приобретение специальных инструментов, в 3300 руб. серебром. Экспедиционный отряд выехал из Пулкова 11 мая 1896 г. и, проделав в общей сложности путь в 40 тыс. верст, из них лишь 5 тыс. верст по суше, вернулся только 24 сентября. (Кроме Витрама, который по поручению ИРГО провел еще определение силы тяжести в Хабаровске, Влади-

востоке и Гонконге и возвратился с Дальнего Востока в декабре.) Ящики с оборудованием, отправленные заранее – в середине апреля, прибыли обратно лишь в конце ноября. Бесплатный переезд астрономов и перевозку инструментов во Владивосток и обратно обеспечило судоходное общество «Добровольный Флот», державшее срочное пассажирское и грузовое сообщение между Одессой и дальневосточными портами. Хотя путешественники прибыли к месту назначения на две недели позже запланированного срока, часть инструментов оказалась поврежденной в дороге, а два из них так и не успели собрать, экспедиция оказалась успешной и дала важные результаты [93].

Позже Ф. Ф. Витрам принимал участие еще в 3 экспедициях для наблюдения полных и гибридного (самого редкого типа) солнечных затмений: 14 января 1907 г. – в г. Ура-Гюбе в Туркестане, 17 апреля 1912 г. – около станции Серебрянка С.-Петербурго-Варшавской железной дороги, а 21 августа 1914 г. – на своей родине, в Риге. Через 4,5 месяца после последней из них выдающегося астронома-геодезиста не стало. Его прах покоится на Пулковском мемориальном кладбище астрономов – одном из немногих, где уже 165 лет хоронят по профессиональному признаку, и единственном в мире месте вечного успокоения сотрудников одного научного учреждения – астрономической обсерватории.

Пять лет назад утверждены герб и флаг пос. Серебрянка. Их центральным элементом стал золотой восстающий и обернувшийся лев, держащий в пасти золотое солнце – как напоминание о гибридном солнечном затмении, чья кольцеобразная фаза длилась всего 14 с и наблюдать которую в апреле 1912 г. туда прибыли на экстренных поездах до 2 тыс. петербуржцев и небольшая экспедиция из Пулково под началом Ф. Ф. Витрама.

Хотя после июня 1415 г. столица сегодняшней Беларуси каждый раз находилась вне зоны наибольшего помрачения светила, ее положение относительно путей тени Луны показано на полутора десятках карт солнечных затмений 1706–1896 гг. Но не следует думать, что если карта-основа оказывалась достаточно подробной в географическом отношении, то на ней обязательно разыщется Минск. Так, из всех населенных пунктов Беларуси на карту [71], наделавшую столько шума в 1764 г., нанесена только Любань. А на добротной, размером 64 × 44 см, польско-немецко-язычной карте полного солнечного затмения 28 июля 1851 г. [94], где присутствуют более 30 белорусских городов и деревень, включая известное с 1568 г. местечко в Мозырском уезде с дорогим сердцу каждого советского человека названием «Ленин», для Минска места не нашлось...

К началу XX в. был накоплен и критически обобщен богатый опыт деятельности «странствующих астрономов», процесс организации и условия наблюдения которыми солнечных затмений разительно отличаются от «тепличных» условий, в которых ученые работают в стационарных обсерваториях, проводя вечера за наблюдениями, а дни – за вычислениями.

Примечателен в этом отношении доклад «великого», как иногда его величают, астронома-любителя – графа Аймара Эжена де Лабом-Плювинеля (1860–

1938) [95], члена Королевского астрономического общества Великобритании, тогда вице-президента Французского астрономического общества, сделанный им на годичном общем собрании этого общества 4 апреля 1906 г. [96].

Получив в наследство значительное состояние, А. де Лабом-Плювинель годами внештатно работал в обсерваториях рядом с астрономами-профессионалами, большую часть свободного времени уделял научным исследованиям и фотографии, участвовал в качестве волонтера в официальных экспедициях или финансировал собственные поездки для наблюдения затмений по всему миру. Начав астрономическую карьеру в возрасте 22 лет с экспедиции на о. Гаити и имея уже почти 20-летний стаж наблюдения затмений Солнца (Кавказ, острова Спасения, Крит, Испания, Сенегал, Суматра, Египет), в докладе он шаг за шагом – по месяцам, неделям, дням, ночам, часам, минутам и секундам – проследил все этапы, через которые должен пройти астроном-путешественник, отправляющийся в далекие края для производства наблюдений, длящихся обычно всего лишь несколько минут.

Начав с момента, когда наблюдатель, сверившись с картой затмения (желательно, достоверной), еще только решает предпринять очередное путешествие, граф детально прокомментировал «великие и разнообразные заботы», поглощающие астронома, когда он занят подготовкой экспедиции, описал на основе своего и чужого опыта всяческие случайности и затруднения, которые приходится при этом преодолевать, показал, ценой каких усилий достигаются важные результаты в ходе выполнения наблюдений.

Среди прочих забот им упомянуты: поиск меценатов или выбивание у правительства средств для осуществления экспедиции, несоблюдение в 9 из 10 случаев сроков изготовления нового инвентаря, нестыковки механических и оптических деталей и фотопринадлежностей от разных производителей, неприятные сюрпризы, не знающие границ, которые ожидают после доставки на место и распаковки 30 или 40 ящиков с инструментами и материалами весом в несколько тонн, «многие досады», что могут причинить как до отъезда, так и в ходе путешествия в дальние страны таможенные учреждения (названные им «неприятными»), надежное ограждение и даже вооруженная охрана научного лагеря от наводнения толпами любопытных, натиск которых возрастает в момент затмения, хлопоты с местными помощниками, которые всегда воодушевлены наилучшими намерениями, но мало привычны к астрономическим инструментам и требуют многократных репетиций процедуры наблюдений, и даже «истинная язва» для несчастных астрономов – «навязчивые репортеры с вечным кодаком под мышкой».

И не забыл добавить: «Когда уже выйдешь победителем из всех этих испытаний и получишь хорошие негативы, надо еще много внимания, чтобы благополучно довести их домой, чтобы их не разбили, не растеряли, не раскрали». Чтобы не появились, как после затмения 1898 г., в научных журналах объявления типа: «Утеряна синематографная лента, изображающая различные фазы последнего солнечного затмения. Сообщения адресовать майору Х. Доставившему будет выдано вознаграждение» [96].

Беспрецедентный пример заботливого отношения к составлению карты будущего затмения, гарантирующей всякому выбор надежного пункта для наблюдений, дал англичанин Александр Бартон-Браун (1840–1932), полковник Королевской артиллерии, член Геологического и Королевского астрономического обществ [97]. Прослышав о сомнениях относительно удобства наблюдать полное солнечное затмение 9 августа 1896 г. в Норвегии, имея опыт участия в затменных экспедициях и путешествий по этой исключительной стране, с ее ледниками, высокими скалами, частыми ущельями, редкими низинами, большим числом островов у побережья и извилистой береговой линией, изрезанной множеством фьордов, он решил провести там свой летний отдых и посвятить его добыванию достоверной информации, которая может оказаться полезной как для членов Королевского астрономического общества, так и астрономов вообще.

Летом 1894 г. за несколько недель поездок, в которых его сопровождал коллега – норвежский капитан-артиллерист, А. Бартон-Браун составил и в январе 1895 г. опубликовал подробный доклад с картой удобных для наблюдения мест в Северной Норвегии, попадающих в полосу полного затмения, которую он составил на основе шести или семи английских, французских, норвежских, шведских, русских карт и схем [98]. Для 24 пунктов, из них 16 островов, им указаны: географическая широта и долгота, высота местности над уровнем моря, продолжительность полной фазы в минутах и секундах, расстояние до центральной линии, угол наклона Солнца над горизонтом, тип и рельеф местности, погодные условия, наличие гостиницы, телеграфа и местного транспорта, условия проживания и питания, дополнительные услуги.

Бывший солдат предостерег астрономов-путешественников от некритичного использования популярных туристических справочников. По его словам, хотя некоторые рекомендации из вполне надежных путеводителей читаются как сказка, на практике они окажутся чистой фантастикой. Ведь те условия, что вполне устроят отправившихся в увеселительную прогулку, совершенно недостаточны, чтобы обеспечить скрупулезную работу участников экспедиции.

И не был бы Бартон-Браун «настоящий полковник», если бы не приберег ряд полезных советов относительно выбора удобных маршрутов, стоимости плавания и условий пребывания на борту корабля для групп наблюдателей, в составе которых планируют быть дамы. Он даже провел консультации с пароходными компаниями на эту тему и выразил уверенность, что тяготы экспедиции не будут слишком обременительными для этих энергичных женщин, которые всегда помогают в экспедициях своим мужьям и их коллегам добиться успеха. (Бытует даже термин «экспедиционные жены»; первой из них считают супругу Королевского астронома Шотландии Ч. Пиацци Смита, упомянутого во введении к данной статье, которая в 1856 г. стала единственным помощником мужа в его 6-месячной экспедиции по проведению астрономических наблюдений [99].) Тем не менее, предупредил английский джентльмен, в столь отдаленных и труднопроходимых районах дамы должны во многом полагаться только на себя, ми-

ряться с неудобствами, включая комаров и других вредных насекомых, которых там в изобилии, и быть готовыми отдыхать на ложе, отнюдь не всегда усыпанном розами [98].

Безусловно, для астронома-путешественника главное не столько наличие некоего населенного пункта на карте затмения (место наблюдения может быть лишено признаков цивилизации), сколько картографическая точность атрибутов ожидаемого астрономического явления.

Основой при расчетах путей, пробегаемых лунной тенью по земной поверхности, служат эфемериды – таблицы предвычисленных координат небесных тел, ежегодно составляемые национальными астрономическими службами. Первый ежегодник под названием «*Connaissance des temps*» издали в 1679 г. во Франции; с 1795 г. их готовило Бюро долгот в Париже. Затем в Великобритании с 1766 г. стали издавать «Морской альманах и астрономические эфемериды», в Германии с 1774 г. – «Берлинский астрономический ежегодник», в США с 1852 г. – «Американские эфемериды и морской альманах». На точность предсказания этими изданиями затмений Солнца влияла точность теории движения Луны, использованной вычислителями эфемерид, свежие поправки к которой не всегда учитывали. Да и других источников расхождения теории с наблюдениями хватало.

Как важно в этих условиях не прогадать с выбором достоверной карты хода затмения наглядно продемонстрировал уже знакомый нам странствующий астроном А. де Лабом-Плювинель. Он свел на одной карте положения центральной линии полосы солнечного затмения 17 апреля 1912 г., предсказанные 4 упомянутыми престижными ежегодниками, а также с карты затмения из брошюры, изданной Бюро долгот. И получил 5 не совпадающих друг с другом путей лунной тени [100], причем расстояние между крайними из них составило 7,7 км!

Казалось бы, что можно к этому добавить?

Однако еще более усугубил конфуз доктор астрономии Уильям Джеймс Стюарт Локьер (1868–1936), пятый сын того сэра Нормана Локьера (1836–1920), что назвал гелием неизвестный элемент, открытый в солнечных протуберанцах, основал в Лондоне журнал «*Nature*» и редактировал его первые 50 лет. Младший Локьер собирался увидеть затмение в Португалии на линии, ход которой рассчитал его соотечественник Э. К. Д. Кроммелин, штатный сотрудник Королевской обсерватории в Гринвиче (о нем ниже). Непредвиденные обстоятельства отменили эту экспедицию, но У. Локьер успешно наблюдал затмение под Парижем – как раз вблизи линии из американских эфемерид. Возвратившись в Лондон, он дополнил карту Лабом-Плювинеля линией Кроммелина и получил уже 6 не совпадающих друг с другом расчетных путей лунной тени (рис. 5) для одного и того же затмения Солнца [101]. В связи с этим Кроммелин, сам наблюдавший затмение во Франции, подтвердил Локьеру, что ближе всех к реальному пути тени Луны по земной поверхности оказалась траектория из американского ежегодника.

В июле–августе 1914 г., при подготовке, в ходе и после наблюдения полного затмения Солнца, с некоторыми из вышеперечисленных великих и разнообраз-



Рис. 5. Пример из [101] несовпадения 6 расчетных путей лунной тени для кольцеобразного затмения Солнца 17 апреля 1912 г.

ных забот, случайностей и затруднений столкнутся, итогами деятельности и советами профессионалов, упомянутых в данном разделе, в той или иной мере воспользуются другие странствующие астрономы – участники гринвичской затменной экспедиции в Минск.

Астрономическая мекка на краю Европы

Одной из первых организаций в Европе, которая начала программу систематических наблюдений Солнца, и единственной, которая направила своих сотрудников в Минск для наблюдения полного солнечного затмения 21 августа 1914 г., стал главный астрономический центр Великобритании – Королевская обсерватория [102; 103]. Просуществовав как научное учреждение 323 года, она сыграла выдающуюся роль в истории астрономии, столетиями служила «меккой» для астрономов-наблюдателей со всего мира, а в статусе музея астрономических и навигационных инструментов остается такой и для сегодняшних любителей узнать подробнее о «делах заоблачных».

Ее история началась 22 июня 1675 г., когда король Карл II Стюарт издал указ о строительстве на высоком холме в королевском парке в Гринвиче, предместье Лондона, небольшой обсерватории с жилым домом для королевского астронома-

наблюдателя и его помощника. Монарх поручил закончить строительство со всей возможной скоростью и оплатить материалы и труд рабочих из сумм, вырванных Королевским Артиллерийским управлением от продажи старого и испорченного пороха (его продали 690 бочек). Меньше чем за год здание, впервые в Великобритании специально спроектированное для решения научных задач, было построено. В последующие века на холме вырос целый комплекс корпусов обсерватории (рис. 6).

Первым астрономом-наблюдателем король назначил 29-летнего магистра искусств, преподобного Джона Флемстида (1646–1719), предписав ему «заняться с величайшим старанием и аккуратностью исправлением таблиц движений на небесах и положений неподвижных звезд» [102; 104]. Дж. Флемстиду установили скромный годовой оклад в 100 фунтов стерлингов, который выплачивало Артиллерийское управление, и дали право снабжать обсерваторию любыми необходимыми инструментами и оборудованием, но... за свой счет! Еле сводя концы с концами, работая в 1677–1684 гг. без помощника, подрабатывая в 1676–1709 гг. частными уроками (его учеников насчитали 140), астроном на собственные средства приобретал инструменты, бумагу и чернила для записи результатов наблюдений, оплачивал необходимую ему техническую помощь. Если бы не его умелые руки, помощь высокого покровителя, а затем – полученное наследство, вряд ли бы он смог оснастить обсерваторию первоклассными по тем временам инструментами.



Рис. 6. Один из новых корпусов Королевской обсерватории в Гринвиче

Начало положили сконструированный Флемстидом 2-метровый секстант с телескопическим визиром; 3-метровый стенной квадрант, изготовленный английским ученым-энциклопедистом и изобретателем Робертом Гуком (1635–1703); двое часов нового типа с 4-метровыми маятниками и точными механизмами, собранных Томасом Томпионом (1638–1713), лучшим часовщиком Лондона. Инструменты оплатил и передал в дар Флемстиду сэр Джонс Мур (1617–1679), английский математик и геодезист, главный топограф Артиллерийского управления, который-то и порекомендовал королю молодого астронома для назначения на должность. Традиция дарения Королевской обсерватории оборудования, идущая от Дж. Мура (правда, после его смерти наследники требовали вернуть им инструменты), сохранилась до начала 1950-х годов [103]. Дареные и арендованные на время экспедиции инструменты использовали и наблюдатели, приехавшие летом 1914 г. в Беларусь.

Руководитель Гринвичской обсерватории вплоть до 1972 г. назначался королем и с 1765 г. носил титул Королевского астронома. Первоначально этот пост был пожизненным, поэтому ранняя история обсерватории – это фактически история жизни и деятельности Королевских астрономов. Ведь до 1811 г. им выделяли средства на содержание только одного помощника, некоторые из которых увольнялись через недели или месяцы. А второй по счету Королевский астроном, упоминавшийся ранее Э. Галлей, до самой смерти работал вообще без помощников, да еще получил обсерваторию под свое начало без какого-либо оборудования, ибо вдова Дж. Флемстида забрала все инструменты, по праву принадлежавшие ее мужу.

С начала 1820-х годов, в связи с ростом объема ежедневных наблюдений и возложением Адмиралтейством на обсерваторию дополнительных функций, число ассистентов Королевского астронома постепенно увеличили до 6, затем ввели их градацию по категориям, степеням, специальностям. Чтобы упорядочить их полномочия, в 1870 г. ввели должность главного ассистента – заместителя руководителя обсерватории (позже их стало два). Появились и внештатные вычислители, которые долгое время составляли большую часть работавших в Гринвиче. Но только в 1896 г., после двухлетней тяжбы с правительством, некоторых из них разрешили зачислять в штат [103].

Примечательно, что из 11 Королевских астрономов, которые с 1675 по 1971 г. руководили Гринвичской обсерваторией, 10 ученых либо приобрели интерес к астрономии под влиянием увиденных затмений Солнца, либо не раз принимали участие в их наблюдении, публикуя результаты в научных изданиях, либо организовывали экспедиции для наблюдения этих небесных явлений. По-настоящему солнечная астрофизика получила свое развитие в обсерватории в годы, когда обязанности седьмого Королевского астронома исполнял Джордж Биддель Эйри (1801–1892). Он организовал успешные экспедиции по наблюдению солнечных затмений туда, где они были полными – 8 июля 1842 г. в Италию, 28 июля 1851 г. в Швецию, 18 июля 1860 г. в Испанию, и принял в них личное участие.

Всего же в период между 1860 и 1914 гг. британские астрономы совершили более двух десятков экспедиций по наблюдению затмений Солнца [105]. Были среди них и поездки из Гринвича в Россию. Так, для наблюдения (оказавшегося неудачным) полного затмения 19 августа 1887 г. в пос. Высоковск Клинского уезда Московской губернии прибыл английский астроном и сейсмолог Герберт Холл Тёрнер (1861–1930), главный ассистент Королевской обсерватории.

Экспедиции 1860–1870-х годов по своему составу были разношерстными, включали как профессионалов, так и астрономов-любителей, ибо участие в наблюдении затмения для последних стало хорошим способом сделать себе имя. Именно в это время Дж. Б. Эйри убедился, что в состав экспедиций следует принимать только ответственных и научно компетентных наблюдателей. Любителям стали отказывать, если у них не было четкого плана работ – ведь теперь на первое место вышло не любование красочными явлениями в небесах, а научные задачи.

Планирование затменных экспедиций не сразу стало обычным делом, иногда их организовывали временные комитеты, располагавшие небольшими средствами. Однако возросшая значимость результатов наблюдения полных затмений Солнца для развития науки привела сначала к созданию в 1888 г. Королевским астрономическим обществом постоянного комитета по затмениям, а затем в 1894 г. – Объединенного постоянного комитета по затмениям Лондонского королевского общества и Королевского астрономического общества, ставшего постоянным органом по организации их наблюдений [106]. Он просуществовал три четверти века, пережил две крупнейших в истории человечества войны, революции в каждой из областей человеческой деятельности: научные, научно-технические, политические и социальные, стал одной из первых организаций в Великобритании, распорядившейся средствами на выполнение научных проектов, чем способствовал зарождению и развитию системы государственных грантов на исследования, действующей и поныне.

Дискомфорт не беда! Увидеть бы затмение...

Планомерная подготовка английских астрономов, как профессионалов, так и любителей, к затмению 21 августа 1914 г. началась за три года до него. В 1911 г. в Великобритании и США, а в 1912 г. – во Франции и Германии вышли в свет астрономические ежегодники с данными о будущем затмении.

Так, «Американские эфемериды и морской альманах на 1914 год» [107] включали две таблицы. Первая давала значения бесселевых элементов затмения (координаты центра тени, направление ее оси, радиусы тени и полутени и др.) через каждые 10 мин с 22:10 среднего времени по Гринвичу (GMT) 20 августа до 03:00 GMT 21 августа. Во второй приведены значения широты и долготы северной и южной границ пути лунной тени, центральной линии полосы затмения и длительность его полной фазы (тоталитета) на центральной линии через каждые

5 мин с 23:30 до 01:40 GMT. Для определения мест, где будет видимо затмение, прилагалась карта-схема его хода на фоне Северного полушария, но не очень детальная – исполненная в духе канона Фр. Галашки [38; 39]. На ней вдоль центральной линии полосы полного затмения даны названия только 5 городов – Вефсна (Норвегия), Сундсвалль (Швеция), Рига и Киев (Россия), Требизон (Турция). Маловато, но на карте из французских эфемерид их вообще не было.

Активно готовились к затмению не только Королевская обсерватория и объединенный комитет, но также Британская астрономическая ассоциация (БАА) – старейшая в Великобритании организация любителей астрономии. Она создана в 1890 г. несколькими десятками недовольных (были среди них и представители Гринвича) высокими взносами за членство в Королевском астрономическом обществе и тем, что в него не принимали женщин (это ограничение отменили только на 96-м году деятельности общества).

25 июня 1913 г. на общем собрании ассоциации вводный доклад о будущем затмении сделал доктор наук Эндрю Клод де ля Шеруа Кроммелин (1865–1939), уроженец Северной Ирландии с гугенотскими корнями, в 23 года избранный в Королевское астрономическое общество, в 1904–1906 гг. бывший президентом БАА [108]. Математик по образованию, с 1891 г. штатный ассистент в Королевской обсерватории, он считался в Гринвиче экспертом по расчету орбит комет и малых планет. С 1898 по 1906 г. занимался вычислением эфемерид Марса, Юпитера, Сатурна и Луны, в 1896, 1900 и 1905 гг. был участником организованных БАА затменных экспедиций, а впоследствии стал одним из крупнейших в мире авторитетов по исследованию комет и прославился как «The Comet Man».

Свое выступление он начал словами о «восхитительной экспедиции на север Норвегии» в 1896 г., которая показала ему «весьма успешной», но не в части астрономических результатов (наблюдения провалились), а той дисциплины, организации и энтузиазма, что продемонстрировала большая команда наблюдателей из числа членов ассоциации [109].

Нужно пояснить: тогда паровой парусник «Норвежский король» водоизмещением 3000 т отправился в 1800-мильный вояж в Вадсё, рыбацкий порт у берегов Северного Ледовитого океана, имея на борту около 165 пассажиров, из них 58 членов БАА. В их числе были как знаковые фигуры, так и астрономы-любители из Великобритании, Франции, Италии, Индии, Южной Африки и Австралии, путешествовавшие как самостоятельно (многие со своими инструментами), так и в качестве членов двух экспедиций – «правительственной», отправленной Лондонским королевским и Королевским астрономическим обществами, и первой официальной экспедиции, организованной БАА [110].

Целый месяц плавания туда и обратно был насыщенным на события. Частые остановки в портах, экскурсии по фьордам, лекции недавнего Королевского астронома Ирландии о затмениях, однодневный поход на северо-запад России, бал-маскарад, исполнение национальных гимнов, салют и стрельба из пушек при высадке на берег, выбор нескольких площадок для наблюдений, похороны мич-

мана, разбившегося при падении с реи, постановка шуточной пьесы «Тоталитет, или граф Вадсё», покупка сувениров у лопарей, занятие своих мест у инструментов по сигналу горна, групповое фотографирование, установка памятного знака об экспедиции и даже альбом с 97 отличными фотографиями, изданный после возвращения.

Но снимков солнечной короны, протуберанцев и 106-секундной полной фазы затмения в нем нет – в самый ответственный момент тучи полностью закрыли Солнце. Лишь на миг в узкую щелочку в плотных и медленно движущихся облаках выглянул полумесяц помраченного светила, да в лагере «правительственной» экспедиции уловили краткий солнечный проблеск.

Как можно было ожидать, следующий после затмения день был самый что ни на есть ясный и солнечный...

Завершив ностальгические воспоминания, Э. К. Д. Кроммелин указал на необычное совпадение: полосы полных затмений Солнца 9 августа 1896 г. и 21 августа 1914 г. шли крест-накрест, пересекаясь на территории Норвегии. То, что два полных затмения, разделенных интервалом в один сарос (18 лет), можно увидеть в одной и той же местности, было редкостью и заслуживало особого внимания. Потому он назвал Норвегию одной из возможных целей затменной экспедиции, добавив, что Рига лежит точно на центральной линии полосы лунной тени, а Объединенный постоянный комитет по затмениям планирует направить наблюдателей в Крым [109].

В июле 1913 г. президент БАА предложил Джорджу Фредерику Чемберсу (1841–1915), одному из первых членов ассоциации, автору истории затмений [1], вышедшей несколькими изданиями, сделать обзорный доклад о затмении 21 августа 1914 г. Выбор не был случайным. Парламентский адвокат по специальности, владелец частной астрономической обсерватории, Дж. Ф. Чемберс являлся одной из самых влиятельных фигур в истории британской любительской астрономии. Кроме популяризации этой науки, он писал также о политике, праве, истории, религии, топографии, метеорологии, путешествиях и даже составил 16-язычный разговорник для туристов. Финансово наиболее успешным среди его произведений стала не дюжина книг по астрономии, а путеводитель по городу Истборну, где он долго жил, который впервые вышел в свет в 1868 г., выдержал 25 изданий и принес автору прибыль в размере около £30000 в нынешних ценах [111].

Доклад был подготовлен, заслушан на ноябрьском собрании БАА [112] и опубликован [113]. Посетовав на нехватку крупномасштабной карты точного пути тени Луны, Чемберс охарактеризовал наиболее доступные места на линии тоталитета, вероятные погодные условия там, возможные маршруты в Норвегию, Швецию и на «далекий юг континента», требования таможни, расходы на плавание и проживание в отелях, продолжительность путешествия и другие моменты. По его оценкам, вероятность благоприятной погоды возрастала от западного побережья Норвегии к Черному морю, путь к местам наблюдения и обратно мог за-

нять около 20 дней, а в пункте наблюдения придется пробыть 4 дня. Был упомянут на заседании и Минск, как достаточно крупный город, находящийся на участке центральной линии полного затмения, проходящей по Российской империи.

Поскольку в докладе и при его обсуждении вновь много внимания уделялось возможности отправиться с удобствами и большой компанией на пароходе в Норвегию, участник заседания полковник А. Бертон-Браун напомнил изложенную выше историю с плаванием в Вадсё, когда наблюдатели комфортно провели время на борту парусника, но затмения так и не увидели. Назвав очень плохой идею вновь совершить лишь приятный круиз вдоль берегов Норвегии, полковник-артиллерист подытожил: «Некоторый дискомфорт не беда, если вы сможете увидеть полное затмение Солнца» [112].

В это же время в Гринвиче Э. К. Д. Кроммелин вычислял поправки к координатам пути лунной тени в затмении 21 августа 1914 г.

Памятуя о ситуации, отраженной на рис. 5, он еще в апреле 1913 г. сравнил эфемериды Луны из американского, британского и французского ежегодников, указав на недостаточность учета лишь поправок С. Ньюкома, которые с 1883 г. вводились в теорию движения Луны, ранее построенную П. А. Ганzenом и все хуже согласующуюся с наблюдениями. Используя результаты теории французского математика и астронома Ш. Делоне, он рассчитал на каждый день 1914 г. поправки к координатам Луны, которые следует ввести как в таблицы Ганзена–Ньюкома, так и в «Морской альманах и астрономические эфемериды на 1914 год для меридиана Королевской обсерватории в Гринвиче» [114].

В январе 1914 г. Э. К. Д. Кроммелин опубликовал таблицу новых координат северной и южной границ и центральной линии полосы лунной тени, а также длительности тоталитета, склонения и азимута Солнца и ряда других элементов в точках центральной линии [115]. Исправленные на основе результатов наблюдений Луны в Гринвичской обсерватории за последний год, они были указаны через каждые 5 мин для временного интервала с 00:05 до 01:00 GMT, когда тень Луны будет пробегать по территории Норвегии, Швеции и Российской империи. Среди прочего Кроммелин отметил, что центральная линия этого затмения (в духе дискуссий в БАА он даже назвал его «норвежским» [115]) войдет на российскую территорию в 16 милях к северо-востоку от Риги и пройдет «очень близко» от Минска и Киева.

Вероятно, эта статья стала первой научной публикацией, давшей надежно обоснованное указание на близость Минска к линии тоталитета, поскольку именно таблица из [115], с новыми подробностями о полосе затмения, была включена в популярное у астрономов ежегодное приложение к лондонскому ежемесячнику «Обсерватория» [116], редакторы которого отметили, что они в долгу у Э. К. Д. Кроммелина за все подробности. Позже члены британских затменных экспедиций ссылались именно на эти расчеты пути лунной тени.

На собрании БАА 28 января 1914 г. Кроммелин рассказал о своих расчетах и обратил внимание, что ошибка в предсказанном британским морским альмана-

хом положении центральной линии затмения 21 августа составляет почти 10 миль (или 16 км), о чем дополнительно будет сообщено особым циркуляром. А Дж. Ф. Чемберс, показав слайд с картой Норвегии, дополнил свой прошлогодний доклад новыми советами для тех, кто собирается увидеть затмение в Норвегии или Швеции. Ряд джентльменов поделились впечатлениями от многих поездок в эти края, а президент ассоциации в очередной раз поблагодарил Чемберса за труды по сбору полезной информации [117].

Самое забавное в том, что после глубоко заинтересованных, эмоциональных и длившихся месяцами обсуждений любителями астрономии того, какой же маршрут будет «наиболее привлекательным для тех, кто хотел бы увидеть самые красивые части Норвегии (да и вообще Европы)», никто из членов БАА наблюдать полное солнечное затмение в Норвегию так и не поехал [118].

Посланцы Туманного Альбиона

В феврале 1914 г. Объединенный постоянный комитет по затмениям сообщил о предварительных планах наблюдения английскими астрономами в августе полного затмения Солнца, причем не менее чем в трех точках линии тоталитета. После консультаций с директором Пулковской обсерватории академиком О. А. Баклундом англичане все три «правительственные» экспедиции решили направить на территорию Российской империи [119].

Первая, в статусе официальной экспедиции объединенного комитета и самая многочисленная – из 5 человек, направлялась в Киев или его окрестности и состояла из двух групп наблюдателей с разными задачами. В одну вошли профессор А. Фаулер (1868–1940), известный астроном и физик, член Лондонского королевского общества, бывший в затменных экспедициях 1893, 1896, 1898, 1900 и 1905 гг., бакалавр искусств и будущий профессор физики У. Э. Кертис (1894–1953), работавший у Фаулера демонстратором, и в качестве наблюдателя-волонтера – майор Э. Г. Хиллс (1864–1922), с которым далее мы еще встретимся. Другую группу составили два астронома из обсерватории Стонихерст-колледжа в графстве Ланкашир, оба члены Королевского астрономического общества, оба священники-иезуиты: преподобный А. Л. Корти (1859–1925), вскоре возглавивший обсерваторию, и наблюдатель-волонтер – преподобный Э. Д. О’Коннор (1874–1954), через два года бывший ректором колледжа, а после смерти Корти – директором обсерватории. Но в поездке в Киев им было отказано на основании статьи Свода законов Российской империи, с 1820 г. гласившей: «Иезуиты ни под каким видом и наименованием не впускаются в Россию». В итоге, затмение священники наблюдали в Швеции, зато успешно.

Вторую экспедицию направляла в Крым, под Феодосию, Обсерватория солнечной физики Кембриджского университета. В ней числились директор обсерватории, профессор астрофизики Х. Ф. Ньюолл (1857–1944), член Лондонского королевского и Королевского астрономического обществ (в 1907–1909 гг. прези-

дент последнего), и еще два члена астрономического общества – заместитель директора Ф. Дж. М. Стрэттон (1881–1960) и старший наблюдатель Ч. П. Батлер (1871–1952).

Третья экспедиция, в составе двух сотрудников Королевской обсерватории в Гринвиче – тех самых Джонса и Дэвидсона, что упомянуты в [8], должна была ехать в Минск. Состав любой из групп мог еще измениться, поскольку заявки на участие в наблюдениях принимались по 25 марта 1914 г. Но такие изменения коснулись лишь гринвичской экспедиции.

Если судить по сообщениям из Санкт-Петербурга, появившимся в июне 1914 г. во многих газетах (даже выходящей на Гавайях [120]), ожидалось, что наблюдать затмение в Минск отправятся уже не два, а большая команда штатных сотрудников Гринвичской обсерватории (на тот момент их числилось 18, а всего работающих – 61). И возглавит ее сам Фрэнк Уотсон Дайсон (1868–1939), руководитель Королевской обсерватории, девятый со времени ее основания (рис. 7).

Фрэнк Дайсон родился 8 января 1868 г. в семье баптистского пастора и был старшим среди 4 братьев и 3 сестер [121]. В 1889 г. он окончил Тринити-колледж Кембриджского университета, где изучал математику и астрономию и отличался блестящими оценками. 1 марта 1894 г., всего через две недели после попытки французского анархиста взорвать Королевскую обсерваторию, Фрэнк занял в ней пост главного ассистента. С 1901 г. Дайсон – член Лондонского королевского общества, в 1905–1910 гг. – Королевский астроном Шотландии, с 1910 г. – Королевский астроном Великобритании, в 1911–1913 гг. – президент Королевского астрономического общества, а с 1913 г. – вице-президент Лондонского королевского общества.

Одной из постоянных сфер его научных интересов были солнечные затмения, во время которых Дайсон измерял спектры короны и хромосферы Солнца, сравнивая их с лабораторными. К 1914 г. он побывал в экспедициях по наблюдению полных солнечных затмений 28 мая 1900 г. в Португалии, 18 мая 1901 г. на о. Суматра, 30 августа 1905 г. в Тунисе, 17 апреля 1912 г. в Париже. Он славился невероятной удачей при угадывании благоприятной погоды на день затмения. Если на фоне всеобщего уныния и разочарования отыскивалось хоть одно подходящее место, откуда затмение будет видно, можно было быть уверенным, что Дайсон окажется именно там. За свою жизнь он наблюдал 6 полных затмений Солнца, и всегда успешно.

Но поездка Королевского астронома в Минск не состоялась.



Рис. 7. Фрэнк У. Дайсон, Королевский астроном Великобритании в 1910–1933 гг.

Помешала этому не погода, а необходимость участия в 84-м съезде Британской ассоциации по развитию науки [122], членом которой Дайсон состоял с 1905 г. и в 1905–1911 гг. входил в Совет ассоциации. Мероприятия съезда проходили с 28 июля по 31 августа 1914 г. в Австралии, поочередно в нескольких городах, куда со всего мира съехались сотни известных ученых (австралийское радио назвало событие «большим научным пикником»). На съезде Дайсона вновь избрали в Совет ассоциации. В университетах Мельбурна и Западной Австралии ему вручили дипломы почетного доктора наук. 18 августа он выступил с лекцией об истории, деятельности и достижениях Гринвичской обсерватории. 19 августа в составе специального комитета представил доклад о состоянии сейсмологических исследований. 21 августа, в день полного затмения, еще один комитет с его участием озвучил проект создания солнечной обсерватории в Австралии. В тот же день Дайсон сделал научный доклад о распределении в космосе звезд вблизи северного полюса мира.

Так что причины неучастия главы Гринвичской обсерватории в экспедиции в Минск понять можно.

На время отсутствия Королевского астронома «на хозяйстве» оставили молодого доктора наук, 4 года занимавшего пост главного ассистента, Сидни Чепмена (1888–1970), впоследствии известного математика, геофизика и астронома, который после возвращения Дайсона из Австралии должен был занять место лектора в Тринити-колледже.

В итоге, отправленная в Минск экспедиция, как первоначально и планировали, состояла из двух штатных сотрудников Королевской обсерватории, но к ним присоединился наблюдатель-волонтер (рис. 8).

Самым молодым из посланцев Туманного Альбиона оказался Гарольд Спенсер Джонс (1890–1960), впоследствии выдающийся астроном, признанный



Рис. 8. Участники гринвичской затменной экспедиции в Минск (слева направо): Г. Спенсер Джонс, Ч. Р. Дэвидсон, П. Г. Хепберн

организатор научных исследований на национальном и международном уровнях [123]. Он родился 29 марта 1890 г. в Лондоне, был третьим ребенком и старшим сыном в семье бухгалтера и учительницы. Родившись как Джонс, Гарольд всю свою жизнь пользовался фамилией Спенсер Джонс, так никогда и не объяснив публично причину этого. Интерес к математике, появившийся у него в детстве, родители всячески поддерживали. Окончив привилегированную мужскую частную среднюю школу Латимер-Аппер-Скул, он получил стипендию для учебы в Джизус-колледже в Кембридже. Здесь его неоднократно удостоивали высших отличий, именных стипендий и призов за успехи в изучении математики и естественных наук. Окончив колледж в 1911 г. и аспирантуру при нем, Гарольд получил ученые степени бакалавра искусств и наук, его избрали членом, а через 20 лет – почетным членом Джизус-колледжа.

1 июля 1913 г. Ф. У. Дайсон назначил Г. Спенсер Джонса сразу на должность главного ассистента Королевского астронома, вакантную после избрания А. С. Эддингтона (1882–1944) профессором астрономии Кембриджского университета. В том же году Гарольд стал членом Королевского астрономического общества. Следуя традициям учреждения, он старательно вникал во все направления работ в обсерватории, за общее руководство которыми отвечали главные ассистенты, что подтверждает тематика его ранних научных публикаций. А первым серьезным поручением Спенсер Джонсу, будущему десятому Королевскому астроному, стало задание возглавить затменную экспедицию в Минск.

Более зрелым и опытным наблюдателем был Чарльз Рандл Дэвидсон (1875–1970) [124]. Он родился 28 февраля 1875 г., образование получил в частной средней школе Крайстс-Хоспитал, основанной в Лондоне в 1552 г. как приют для детей-сирот из бедных семей. 10 марта 1890 г. 15-летнего Чарльза приняли внештатным вычислителем в Королевскую обсерваторию. Такими внештатниками по конкурсу зачисляли даже 13- и 14-летних подростков из местных школ, и уже повзрослевших их по-прежнему звали «мальчиками-вычислителями». 1 июня 1896 г. Дэвидсон стал штатным вычислителем, в 1904 г. – вычислителем высшей категории и в 1912 г. – младшим ассистентом высшей категории.

Вообще-то, чтобы стать младшим ассистентом, следовало сдать экзамены по английскому языку, элементарной математике, вычислениям с помощью таблиц логарифмов, тематике и профилю работы в отделе обсерватории и необязательный экзамен по переводу французской и немецкой астрономической периодики. Чарльзу повезло: занимавшуюся им должность в 1912 г. просто переименовали с сохранением размера заработной платы. Будучи еще вычислителем, он выполнял также функции наблюдателя и в 1901 г. был избран членом Королевского астрономического общества.

Чарльз Дэвидсон в Гринвиче отвечал за фотографирование звездного неба с помощью 26-дюймового линзового и 30-дюймового зеркального телескопов и определение положений звезд на небесной сфере относительно небесного экватора. Не имея высшего образования, он создал себе отличную репутацию редким

мастерством наладки и испытания оптических приборов, умением «выжать» из любого типа астрономического оборудования наилучшие из возможных результатов, стал признанным арбитром и консультантом по всем инструментальным вопросам в обсерватории. Тот же Ф. У. Дайсон при подготовке затменных экспедиций в этом плане всегда полностью полагался на знания и опыт своего младшего помощника.

С 1900 по 1932 г. Дэвидсон принял участие в 8 выездных экспедициях по наблюдению полных солнечных затмений, в том числе перед поездкой в Минск – затмений 28 мая 1900 г. в Португалии, 30 августа 1905 г. в Тунисе и 10 октября 1912 г. в Бразилии. Рисунки-репродукции с фотографий, полученных в 4 из этих экспедиций, воспроизведены Королевским астрономом (им был тогда Ф. У. Дайсон) в статье [8], давшей начало нашему исследованию. Прославила же Ч. Р. Дэвидсона и Э. К. Д. Кроммелина их экспедиция в г. Собрал, на северо-востоке Бразилии, для фотографирования Солнца во время полного затмения 29 мая 1919 г. Анализ их снимков (они оказались лучшими) и фотографий, полученных второй британской экспедицией – под началом А. С. Эддингтона, впервые подтвердил отклонение луча света в гравитационном поле, предсказанное общей теорией относительности А. Эйнштейна [125].

Достаточным опытом и знаниями обладал и добровольный участник экспедиции, заядлый астроном-любитель Патрик Генри Хепберн (1873–1929) [126]. Он родился 4 февраля 1873 г., был старшим из 12 детей в семье адвоката (до того его предки занимались выделкой и торговлей кожами). Вначале Патрик учился в привилегированной мужской средней школе Чартерхаус-Скул, имеющей 400-летнюю историю. Затем окончил Эмиршем-Холл-Скул, известную с 1829 г. как «школа для сыновей достойных джентльменов», где отличился успехами в математике. Вслед за отцом он выбрал профессию юриста, изучал право в Лондонском университете, окончил его в 1894 г. с отличием и ученой степенью бакалавра. Получив квалификацию адвоката, он стал партнером в отцовской фирме «Messrs. Hepburn, Son & Cutcliffe, Solicitors».

Патрик Хепберн отличался разносторонними увлечениями, логическим умом, не упускал шанса пополнить запас своих знаний и умений, был сильным, смелым (иногда до безрассудства) и спортивным, запомнился коллегам-астрономам как «человек демонической энергии». 10-летним мальчуганом он плавал в бурных водах, преодолевая натиск приливных волн; став взрослым, среди зимы часто купался в проруби. Увлекался греблей, проехал на велосипеде по всей Англии и Шотландии, большей части Франции и Бельгии, любил одиночные прогулки по холмам и горам, включая ночные. Изучал иврит, чтобы прочесть в подлиннике псалмы. В 1902 г., с целью подтвердить свою теорию о происхождении готических крещатых сводов от куполов анжуйского стиля, в Нормандии создал уникальную коллекцию фотографий норманнских соборов [126; 127].

Наблюдения звездного неба заинтересовали его в юношестве. Сломав бесконечными мольбами сопротивление родителей, за счет сэкономленных карман-

ных денег он купил небольшой 3-дюймовый линзовый телескоп. Позже, в 1911 г. у семьи умершего астронома приобрел 12,5-дюймовый зеркальный телескоп, а в 1912 г. добавил к нему 20-дюймовый рефлектор на экваториальной монтировке, оборудованной часовым механизмом. Так что многие наблюдения он выполнил в своей частной обсерватории в саду дома на Дауншир-Хилл, в престижном районе Хэмпстед на северо-западе Лондона. Унаследовав после смерти отца его обязанности в адвокатской фирме, Патрик не засиживался долго в офисе, охотно отдавал свободное время своему хобби. Обладая острым зрением, временами он просиживал за телескопом ночи напролет.

Заметной фигурой на астрономической сцене П. Г. Хепберн стал после 1910 г., когда его избрали членом Научного общества Хэмпстеда и одним из секретарей секции астрономии. В открытой тогда же обсерватории общества он взял под свою опеку 8-дюймовый телескоп, организовал наблюдения кометы Галлея, Венеры и Марса. В апреле 1911 г. его избрали в Королевское астрономическое общество. Будучи с ноября 1896 г. членом БАА, с октября 1911 г. многие годы он возглавлял в ассоциации секцию Сатурна. Первые научные работы Патрика посвящены полным затмениям Луны, наблюдениям Венеры в нижнем соединении с Солнцем, размерам Сатурна и его колец, анализу сложной и запутанной схемы солнечного затмения 17 апреля 1912 г., опубликованной британским морским альманахом [126], и ее реконструкции из первых принципов.

Был у волонтера и опыт наблюдения затмений Солнца, причем он занимался этим самостоятельно, не в составе официальных экспедиций. В 1896 г. со своим 3-дюймовым рефрактором он побывал в описанном выше «приятном круизе» в Вадсе для наблюдения полного солнечного затмения 9 августа. Чтобы увидеть такое затмение 28 мая 1900 г., Патрик в одиночку поехал в Испанию, хотя БАА направила туда несколько групп наблюдателей. Полное затмение Солнца 30 августа 1905 г. он наблюдал вновь в Испании, в городке Алькала-де-Чиверт, на берегу Средиземного моря. Расположившись повыше над его уровнем и в стороне от «организованных» наблюдателей, Хепберн получил удачные фотографии помраченного светила. Наконец, в связи с кольцеобразным солнечным затмением 17 апреля 1912 г. он отправился в г. Шартр под Парижем, где заснял центральную фазу этого явления, когда вокруг темного диска Луны виден сияющий ободок солнечного диска.

Летом 1914 г. Хепберн, в отличие от холостяков Спенсер Джонса и Дэвидсона, был уже главой небольшого семейства, отцом двух сыновей. В 1906 г. он женился на Эдит Элис Мэри Харпер (1883–1947), будущей английской поэтессе, писавшей под псевдонимом Анна Уикхэм [127]. Она вернулась в Лондон после 15 лет жизни в Австралии, где десяти лет отроду пообещала отцу, что станет поэтом, и издала две пьесы в стихах для детей. До замужества Эдит брала уроки пения, хотела поступить в консерваторию в Париже. Брак заставил забыть о карьере певицы, и она вернулась к поэзии. Муж не воспринимал ее стихи серьезно, а австралийские пьесы назвал слащавыми и невинными упражнениями для уроков дикции.

В 1911 г. анонимно издали (и переиздавали) первый поэтический сборник Эдит под названием (один из вариантов) «Песня жены из низшей касты». На его страницах рифмовались легко узнаваемые факты из биографии супруги Хепберна и фразы типа «я раздражаю его, а мне с ним скучно». Публикация таких «песен» вызвала у Патрика не просто раздражение и затаенную злобу на поэтессу, а приступы сильного гнева, сопровождавшиеся бурными ссорами и требованием прекратить писать стихи. Местью за нежелание уступить воле мужа стало помещение Эдит в частную психиатрическую клинику (повод нашелся), где она пробыла с мая по сентябрь 1913 г. Отношения между супругами продолжали стремительно портиться, что, возможно, объясняет ту легкость, с которой добровольный помощник гринвичцев решил на экспедицию в далекие края.

Вот такая команда из трех английских астрономов, находившихся в тот момент на различных ступенях своей научной и административной карьеры, отправилась с островной окраины Европы, прославленной густыми морскими туманами, в ее центр – в город, которому суждено было вскоре стать столицей нового государства на политической карте мира.

(Окончание следует)

Литература

51. Sandler Ch. Johann Baptista Homann. Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie // Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. 1886. Bd. XXI, H. 4/5. S. 328–384.

52. Meurer P. H. Ein Landkartenstich des elfjährigen Johann Christoph Homann (1703–1730) // Cartographica Helvetica. 2006. Bd. 33–34, H. 33. S. 17–20.

53. J. G. D. M. P. P. Ausführliche Erklärung Über Zwey neue Homännische Charten / Als über das Systema Solare et Planetarium Copernico-Hugenianum, Und Europam Eclipsatam, In welcher Alles / was in besagten Charten angemerket worden / absonderlich die letzte / sowol universal in dem Systemate Planetario, als particular und besonders in dem Europa Eclipsata vorgestellte grosse Sonnen-Finsternus vom 12ten May des vergangenen 1706ten Jahrs ... Nürnberg: M. G. Hein, 1707. – 55 s.

54. Grosser Atlas Über die Gantze Welt. Wie diese sowol / Nach Göttlicher Allweiser Schöpfung aus den heutigen Grund-Sätzen der berühmtesten Astronomorum Nicolai Copernici und Tychonis de Brahe ... in Kupffer gebracht und ausgefertiget Von Joann Paptist Homann, Der Röm. Kays. Majestät Geographo, und Mit-Glied der Königl. Preussischen Societät der Wissenschaftten. Nürnberg: J. E. Adelbulner, 1716. – [558] s.

55. Pfrepper R., Pfrepper G. Georg Moritz Lowitz (1722–1774) und Johann Tobias Lowitz (1757–1804) – zwei Wissenschaftler zwischen Göttingen und St. Petersburg // 300 Jahre St. Petersburg: Russland und die «Göttingische Seele» / Hrsg. von E. Mittler, S. Glitsch. Göttingen: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, 2003. S. 163–182.

56. Фицуровский Н. А., Ушакова Н. Н. Товий Егорович Ловиц (1757–1804). М.: Наука, 1988. – 192 с.

57. Lowitz G. M. Kurze Erklärung über zwey Astronomische Karten von der Sonnen-oder Erd-Finsternis den 25. Julius 1748. Nurnberg: Homannischen Verlag, 1748. – 24 s.

58. Эйлер Л. Письма к ученым. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 148–151.

59. Гнучева В. Ф. Волго-Донской канал в XVIII в. (Забытые материалы предварительных полевых наблюдений на р. Камышинке, проведенных в 1771–1774 гг. акад. Г. М. Ловицем и адъюнктом П. Б. Иноходцевым) // Природа. 1941. № 1. С. 92–95.

60. *Клейтман А. Л.* Материалы научной экспедиции Г. М. Ловица и П. Б. Иноходцева 1769–1774 годов как источники по истории Нижнего Поволжья // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. История. Междунар. отнош. 2011. Т. 11, вып. 1. С. 3–8.
61. *Козлов С. А.* Русский путешественник эпохи Просвещения: в 3 т. СПб.: Историческая иллюстрация, 2003. Т. 1. С. 61–62.
62. *Coxe W.* Travels into Poland, Russia, Sweden, and Denmark. In 2 vols. London: J. Nichols, 1784. Vol. II. P. 74.
63. *Kornienko J.* Les Euler: une famille dans la communauté franco-allemande réformée à Pétersbourg au XVIII^e siècle / Mémoire de Master 2 Recherche. Paris: Université de Paris-Sorbonne, 2012. – 159 p.
64. *Boeseman M., de Ligny W.* Martinus Houttuyn (1720–1798) and his contributions to the natural sciences, with emphasis on zoology // Zool. Verhandl. 2004. Vol. 349. P. 1–222.
65. *Houttuyn M., Med. Stud.* Nieuwe afbeeldinge der zons verduystering, die op den 25. July 1748. over Europa gezien zal worden, waar in niet alleen de Grootheyd, maar ook de Tyd van het Begin Midden en Eynde, voor alle plaatzen, op een geheel nieuwe manier word aangetoond. Amsterdam: I. Tirion, 1748. – 1 p.
66. *Connor E.* Mme. Lepaute, An Eighteenth-Century Computer // Astron. Soc. Pacific Leaflets. 1944. Vol. 4, N 189. P. 314–321.
67. *Badinter E.* Un couple d'astronomes: Jérôme Lalande et Reine Lepaute // Société Archéologique, Scientifique et Littéraire de Béziers. 10^e ser. 2004–2005. Vol. 1. P. 71–76.
68. La Carte du passage de l'ombre de la Lune au-travers de l'Europe dans l'éclipse de Soleil centrale & annulaire qui doit arriver le premier Avril 1764. Par Madame Le Paute, de l'Académie Royale des Sciences de Beziers // Memoires pour L'Histoire des Sciences et des Beaux Arts. 1762. Juin. P. 1529–1534.
69. Explication de la Carte, qui représente le Passage de l'Ombre de la Lune au travers de l'Europe dans l'Eclipse du Soleil Centrale & Annulaire, du premier Avril 1764. Par Madame Le Paute, de l'Académie Royale des Sciences de Beziers. [1762.] – 8 p.
70. *Pedley M. S.* The Commerce of Cartography: Making and Marketing Maps in Eighteenth-Century France and England. Chicago: University of Chicago Press, 2005. P. 112–113.
71. Carte d'Europe. Dans laquelle on voit la Projection que l'ombre de la Lune tracera sur la surface de cette partie de notre Glôbe dans la célèbre Eclipse centrale et annulaire du Soleil qui arrivera le 1.^{er} Avril 1764 [Map]. Paris: Desnos, 1763. – 1 p.
72. Z Warszawy Dnia 13. Kwietnia // Wiadomości Uprzywilejowane Warszawskie. 1763. N 30. Supplement. S. [4].
73. *Bonne R.* Réfutation d'un ouvrage de M. Rizzi-Zannoni intitulé: Dissertation sur différens points de géographie, & d'un autre qui a pour titre: Eclaircissemens historiques sur un fait littéraire. Padoue: Rixa, 1765. – 80 p.
74. *Boistel G.* Nicole-Reine Lepaute et l'Hortensia // Cahiers Clairaut. 2004. N 108. P. 13–17.
75. Route de l'Ombre de la Lune, au travers de l'Europe dans l'Eclipse de Soleil Centrale et Annulaire du 7. Septembre 1820 [Map]. Paris: L. Delamarche et Ch. Dien, 1820. – 1 p.
76. *Семенов Ф.* Карта полного солнечного затмения, которое видимо будет в Европе 16/28 июля 1851 года пополудни // Москвитянин. 1850. № 9, кн. 1. Отд. III. С. 5–12.
77. *Семенов Ф. А.* О полном солнечном затмении, которое видимо будет в Европе 16/28 июля 1851 года // Геогр. изв. 1850. Вып. 2. С. 250–262.
78. The Total Solar Eclipse of August 19, 1887 // Scientific American. 1887. Vol. 56, N 26. P. 404.
79. *Вернадский В. И.* Памяти друга // Вопр. истории естеств. и техн. 1993. № 1. С. 108–114.
80. *Ольденбург Е. Г.* Студенческое научно-литературное общество при С.-Петербургском университете // Вестн. Ленинградского ун-та. 1947. № 2. С. 145–155.
81. *Клейбер П. А.* Предстоящее полное солнечное затмение 7 августа 1887 года. Изд. 3-е, вновь доп. СПб.: А. Ф. Цинзерлинг, 1887. – 40 с.
82. Отчет комиссии по наблюдению солнечного затмения // ЖРФХО. 1887. Т. XIX, вып. 3. Ч. физ. Отд. I. С. 66–73.
83. *Лукьянец Е. Г.* «Русское затмение» 7/19 августа 1887 г. в Тобольске // На рубежах познания Вселенной, 1992: Минувшее. Современность. Прогнозы. М.: Янус, 1994. С. 222–234.

84. Солнечное затмение 7 августа 1887 года // Томскія епархіальныя ведомости. 1 июля 1887 г. Год восьмой. № 13. С. 1–12.
85. На затмении. Очерк с натуры // Короленко В. Г. Собрание сочинений: в 10 т. Т. 3. М.: Гослитиздат, 1954. С. 54–71.
86. [Шпачинский Э. К.] По поводу солнечного затмения // ВОФЭМ. 1887. № 25. С. 2–3.
87. Вятская станция. Отчет И. А. Клейбера // ЖРФХО. 1888. Т. XX, вып. 7. Ч. физ. Прилож. С. 78–82.
88. Касанов А. Полное солнечное затмение в Вятке. Год 1887 [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://kasanof.livejournal.com/25426.html>. – Дата доступа: 10.08.2015.
89. Obituary: Joseph Kleiber // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1893. Vol. 53, N 4. P. 219–220.
90. Гохнадель В. Витрам Федор Федорович (Готлиб Фридрих Теодор) // Немцы России: энцикл. Т. 1. М.: ЭРН, 1999. С. 375.
91. Витрам Ф. Ф. Полное солнечное затмение 28 июля (9 авг.) 1896 г. (С картой) // Изв. Импер. Русск. геогр. о-ва. 1896. Т. XXXII, вып. 2. С. 102–108.
92. Витрам Ф., Иванов А. Инструкция для наблюдения полного солнечного затмения 28-го июля 1896 года. СПб.: Тип. А. С. Суворина, 1896. – 11 с.
93. Отчет о деятельности Императорской Академии Наук по физико-математическому и историко-филологическому отделениям, ... 29 декабря 1897 года. СПб.: Тип. Императорской Академии Наук, 1897. С. 22–24.
94. Schorr D. F. Mapa całkowitego zaćmienia słońca, przypadającego w dniu 16/28 Lipca 1851 r., starannie i dokładnie ułożona i odrysowana, tyżca się Pruss, Polski i pogranicznych Krajów [Map]. Warszawa: R. Friedlein, 1851. – 1 p.
95. Obituary: Aymar de La Baume Pluvinel // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1939. Vol. 99, N 4. P. 298–299.
96. Лабом-Плювинель А. О наблюдении полных солнечных затмений // ВОФЭМ. 1906. № 429. С. 185–194; № 430. С. 218–224.
97. Obituary: Alexander Burton-Brown // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1933. Vol. 93, N 4. P. 226.
98. Burton-Brown A. Notes on Suitable Stations in Norway for Viewing the Total Eclipse of the Sun on 1896 August 8 // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1895. Vol. 55, N 3. P. 93–101.
99. Brück M. T. Agnes Mary Clerke and the Rise of Astrophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 286 p.
100. De la Baume Pluvinel A. L'Éclipse de Soleil du 17 Avril 1912 // Bull. Soc. Astron. de France. 1912. T. 26, Avril. P. 161–178.
101. Lockyer W. J. S. The Annular Eclipse as Observed near Chavenay, France // Nature. 1912. Vol. 89, N 2218. P. 219–221.
102. Maunder E. W. The Royal Observatory Greenwich. A Glance at its History and Work. London: The Religious Tract Society, 1900. – 320 p.
103. Dolan G. The Royal Observatory Greenwich – where east meets west [Electronic resource]. – 2014, 2015. – Mode of access: <http://www.royalobservatorygreenwich.org/articles.php?article=11>. – Date of access: 10.08.2015.
104. Birks J. L. John Flamsteed: The First Astronomer Royal at Greenwich. London: Avon Books, 1999. – 178 p.
105. Pang A. S.-K. Empire and the Sun: Victorian Solar Eclipse Expeditions. Stanford: Stanford University Press, 2002. – 196 p.
106. Redman R. O. The JPEC // Q. J. R. Astron. Soc. 1971. Vol. 12, N 1. P. 39–44.
107. The American Ephemeris and Nautical Almanac for the Year 1914. Washington: Government Printing Office, 1911. – 742 p.
108. Davidson C. R. Andrew Claude de la Cherois Crommelin // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1940. Vol. 100, N 4. P. 234–236.
109. Meeting of the British Astronomical Association. Wednesday, 1913 June 25 // The Observatory. 1913. Vol. 36, N 464. P. 323–324.

110. *Marriott R. A.* Norway 1896: The BAA's first organised eclipse expedition // *J. Brit. Astron. Assoc.* 1991. Vol. 101, N 3. P. 162–170.
111. *Johnson P.* George F. Chambers, 1841–1915 // *J. Brit. Astron. Assoc.* 1990. Vol. 100, N 1. P. 13–16.
112. Meeting of the British Astronomical Association. Wednesday, 1913 November 26 // *The Observatory.* 1914. Vol. 37, N 470. P. 54–55.
113. *Chambers G. F.* The Total Eclipse of the Sun, Aug. 20–21, 1914 // *J. Brit. Astron. Assoc.* 1913. Vol. 24, N 2. P. 84–100.
114. *Crommelin A. C. D.* A Comparison of the Moon's Co-ordinates for 1914 according to the New Delaunay Tables with those in the «Nautical Almanac» // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1913. Vol. 73, N 6. P. 407–413.
115. *Crommelin A. C. D.* The Corrected Track of the Norway Eclipse // *J. Brit. Astron. Assoc.* 1914. Vol. 24, N 4. P. 223.
116. *Annual Companion* // *The Observatory* 1914. Vol. 37, N 469. P. 1–34.
117. Meeting of the British Astronomical Association. Wednesday, 1914 January 28 // *The Observatory.* 1914. Vol. 37, N 472. P. 120–121.
118. *Shears J.* The British Astronomical Association and the Great War of 1914–1918 // *J. Brit. Astron. Assoc.* 2014. Vol. 124, N 4. P. 187–197.
119. The Total Eclipse of the Sun, 1914 August 21 // *The Observatory.* 1914. Vol. 37, N 471. P. 102–103.
120. Ready for Eclipse // *The Hawaiian Gazette* (Honolulu). Friday, June 12, 1914. Vol. VII, N 47. P. 7.
121. *Wilson M. D.* Ninth Astronomer Royal: The Life of Frank Watson Dyson. Cambridge: W. Heffer, 1951. – 294 p.
122. Report of the Eighty Fourth Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Australia: 1914, July 28 – August 31. London: John Murray, 1915. – 1054 p.
123. *Sadler D. H.* Harold Spencer Jones // *Q. J. R. Astron. Soc.* 1963. Vol. 4, N 1. P. 113–125.
124. *Woolley R.* Charles Rundle Davidson. 1875–1970 // *Biogr. Mems. Fell. R. Soc.* 1971. Vol. 17. P. 193–194.
125. *Dyson F. W., Eddington A. S., Davidson C.* A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919 // *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.* 1920. Vol. CCXX, N 579. P. 291–333.
126. *Hollis H. P.* Patrick Henry Hepburn // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1930. Vol. 90, N 4. P. 366–369.
127. *Jones J. V.* Anna Wickham: A Poet's Daring Life. Lanham: Madison Books, 2003. – 373 p.

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 3, 2015

на русском и белорусском языках

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка Н. И. Кашуба

Подписано в печать 22.09.2015. Выход в свет 29.09.2015. Формат 70×100¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 10,6. Тираж 116 экз. Заказ 173.

Цена номера: индивидуальная подписка – 61 400 руб.; ведомственная подписка – 62 645 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013.

Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.