
Федеральное агентство по образованию

Научный журнал
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
ПЕТРОЗАВОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
(продолжение журнала 1947–1975 гг.)

№ 2 (115). Март, 2011

Серия: Естественные и технические науки

Главный редактор

А. В. Воронин, доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

Н. В. Доршакова, доктор медицинских наук, профессор

Э. В. Ивантер, доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Н. В. Ровенко, кандидат филологических наук,
ответственный секретарь журнала

Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале, без разрешения редакции запрещена.

Статьи журнала рецензируются.

Адрес редакции журнала

185910, Республика Карелия,

г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 272.

Тел. (8142) 76-97-11

E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrso.ru

Редакционный совет

- | | |
|---|---|
| В. Н. БОЛЬШАКОВ
доктор биологических наук,
профессор, академик РАН (Екатеринбург) | ПААВО ПЕЛКОНЕН
доктор технических наук,
профессор (г. Йюенсуу, Финляндия) |
| И. П. ДУДАНОВ
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАМН (Петрозаводск) | И. В. РОМАНОВСКИЙ
доктор физико-математических наук,
профессор (Санкт-Петербург) |
| В. Н. ЗАХАРОВ
доктор филологических наук,
профессор (Москва) | Е. С. СЕНЯВСКАЯ
доктор исторических наук, профессор (Москва) |
| А. С. ИСАЕВ
доктор биологических наук,
профессор, академик РАН (Москва) | СУЛКАЛА ВУОККО ХЕЛЕНА
доктор философии, профессор (г. Оулу, Финляндия) |
| Н. Н. МЕЛЬНИКОВ
доктор технических наук,
профессор, академик РАН (Апатиты) | Л. Н. ТИМОФЕЕВА
доктор политических наук, профессор (Москва) |
| И. И. МУЛЛОНЕН
доктор филологических наук,
профессор (Петрозаводск) | А. Ф. ТИТОВ
доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН (Петрозаводск) |
| В. П. ОРФИНСКИЙ
доктор архитектуры, профессор,
действительный член Российской академии
архитектуры и строительных наук (Петрозаводск) | МИЛОСАВ Ж. ЧАРКИЧ
ведущий профессор Сербской
Академии наук и искусств (г. Белград, Сербия) |
| | Р. М. ЮСУПОВ
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН (Санкт-Петербург) |

Редакционная коллегия серии
«Естественные и технические науки»

- | | |
|--|--|
| А. Е. БОЛГОВ
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор (Петрозаводск) | В. И. СЫСУН
доктор физико-математических наук,
профессор (Петрозаводск) |
| Н. Н. НЕМОВА
доктор биологических наук,
профессор, член-корреспондент
РАН (Петрозаводск) | В. С. СЮНЁВ
доктор технических наук,
профессор (Петрозаводск) |
| В. И. ПАТЯКИН
доктор технических наук,
профессор (Санкт-Петербург) | Б. М. ШИРОКОВ
кандидат физико-математических наук,
доцент (Петрозаводск) |
| Е. И. РАТЬКОВА
ответственный секретарь серии (Петрозаводск) | В. В. ЩИПЦОВ
доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Петрозаводск) |

Federal Educational Agency

Scientific Journal
PROCEEDINGS
OF PETROZAVODSK
STATE UNIVERSITY
(following up 1947–1975)

№ 2 (115). March, 2011

Natural & Engineering Sciences

Chief Editor

Anatoly V. Voronin, Doctor of Technical Sciences, Professor

Chief Deputy Editor

Natalia V. Dorshakova, Doctor of Medical Sciences, Professor

Ernest V. Ivanter, Doctor of Biological Sciences, Professor,
The RAS Corresponding Member

Nadezhda V. Rovenko, Candidate of Philological Sciences,
Executive Secretary

All rights reserved. No part of this journal may be used
or reproduced in any manner whatsoever without written permission.
The articles are reviewed.

The Editor's Office Address

185910, Lenin Avenue, 33. Tel. +7 (8142) 769711

Petrozavodsk, Republic of Karelia

E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrSU.ru

Editorial Council

- | | |
|--|--|
| <p>V. BOLSHAKOV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Ekaterinburg)</p> <p>I. DUDANOV
Doctor of Medical Sciences, Professor,
the RAMS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> <p>V. ZAKHAROV
Doctor of Philological Sciences,
Professor (Moscow)</p> <p>A. ISAYEV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Moscow)</p> <p>N. MEL'NIKOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor, the RAS Member (Apatiti)</p> <p>I. MULLONEN
Doctor of Philological Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p>V. ORPHINSKY
Doctor of Architecture, Professor,
Full Member of Russian Academy
of Architectural Sciences (Petrozavodsk)</p> | <p>PAAVO PELKONEN
Doctor of Technical Sciences, Professor (Joensuu, Finland)</p> <p>I. ROMANOVSKY
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (St. Petersburg)</p> <p>E. SENYAVSKAYA
Doctor of Historical Sciences, Professor (Moscow)</p> <p>HELENA SULKALA
Doctor of Philosophy,
Professor (Oulu, Finland)</p> <p>L. TIMOFEEVA
Doctor of Political Sciences, Professor (Moscow)</p> <p>A. TITOV
Doctor of Biological Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> <p>M. CHARKICH
the Leading Professor of Serbian Academy
of Sciences and Arts (Belgrade, Serbia)</p> <p>R. YUSUPOV
Doctor of Technical Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (St. Petersburg)</p> |
|--|--|

Editorial Board of the Series “Natural & Engineering Sciences”

- | | |
|--|--|
| <p>A. BOLGOV
Doctor of Agricultural Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p>N. NEMOVA
Doctor of Biological Sciences,
the RAS Corresponding Member,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p>V. PATYAKIN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (St. Petersburg)</p> <p>E. RAT'KOVA
Series Executive Secretary (Petrozavodsk)</p> | <p>V. SISUN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p>V. SYUNEV
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p>B. SHIROKOV
Candidate of Physical-Mathematical Sciences,
Docent (Petrozavodsk)</p> <p>V. SCHIPTSOV
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> |
|--|--|

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ

- Греф Е. Я., Коровушкин А. А., Нефедова С. А.
Экологический мониторинг распространности *Bunyavirus Hantavirus* в зависимости от видового состава переносчиков инфекции 7
- Горбач В. В.
К фауне булавоусых чешуекрылых (*Lepidoptera: hesperioidea, papilionoidea*) Карелии. *Karelia ladogensis*: Валаам 11
- Дьячкова Т. Ю.
Eriopactis palustris (L.) Crantz на болотах Карелии 14
- Федоренко О. М., Грицких М. В., Лебедева О. Н., Титов А. Ф.
Генетическое разнообразие природных популяций *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., расположенных на северной границе ареала вида 17
- Шаширина Е. А., Доронкин Ю. В., Лупова Е. И.
Экологический мониторинг территорий и миграция цезия-137 в цепи почва – продукты пчеловодства 21

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б.
Новые данные о миграции береговой линии Белого моря 24

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

- Герасимова Л. И., Берлогина С. Ю.
Механизмы холод-индуцированной вазоконстрикции в постинсультном периоде 33
- Григович И. Н., Никитин С. С., Елагина Р. А., Кулинарева Н. А., Кононова С. А.
Исследование вариабельности сердечного ритма у детей с сочетанными нарушениями функций тазовых органов 38
- Марусенко И. М., Авдеева Я. А.
Вторичный амилоидоз у больных ревматоидным артритом 42
- Щеглов Э. А., Везикова Н. Н., Дуданов И. П., Алонцева Н. Н.
Изучение качества жизни больных с поражениями вен нижних конечностей и остеоартрозом коленных суставов 45

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

- Морозова И. В., Гаврилова О. И.
Закономерности роста культур сосны в течение первых пяти лет после посева семян и посадки сеянцев на вырубках Южной Карелии 49
- Кондратюк Е. А.
Структура рынка сельскохозяйственной продукции Республики Карелии 52
- Нефедова С. А.
Динамика развития миокарда и молочной железы при воздействии Ca^{2+} -антагонистом

- на компенсаторную адаптивность телят к гипотиреозу 55
- Сиротинина В. Ю.
Влияние физиологических факторов на продолжительность стельности у коров айрширской породы 59

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Карпенко С. Н., Петров А. Н., Воронин З. А., Мирохин М. Л.
Инкрементальный подход к физически нелинейному расчету железобетонных балок-стенков с трещинами 62
- Гольдштейн Ю. Б.
Линеаризованная задача устойчивости стержневой конструкции с односторонними связями 66
- Рочев А. А.
Пространственный расчет упругопластических составных стержней 72
- Быстров М. Ю.
Применение структурного подхода к распознаванию скелетов бинарных изображений 76

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Шелестов А. С., Гостев В. А.
Разработка микроплазматрона в качестве устройства подготовки топлива ДВС 81
- Петрунин В. А., Невский С. А., Коновалов С. В., Громов В. Е.
О влиянии слабых электрических воздействий на релаксацию механических напряжений в алюминии 85

Всероссийская школа-семинар для молодых ученых России по теме «Проблемы и приложения электрорастворной обработки в индустрии наносистем и наноматериалов»

- Денисов С. А., Дзидзигури Э. Л., Спицын Б. В., Соколова Г. А., Болдырев Н. Ю.
Очистка и модификация продукта детонационного синтеза алмаза 89
- Усов А. Ф.
Электроимпульсное разрушение материалов: научно-технические основы способа и опыт разработки 99

РЕЦЕНЗИИ

- Цильке Р. А.
Рец. на кн.: Царёв А. П. Генетика лесных древесных растений 110

Юбилей

- К 80-летию со дня рождения А. П. Зильбера 112
- К 60-летию со дня рождения В. А. Гуртова 114

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2008 года

Учредитель: ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

Редактор Г. А. Мехралиева. Корректор С. Л. Смирнова. Переводчик Н. К. Дмитриева. Дизайн, верстка И. Г. Лежнев.

Подписано в печать 24.03.2011. Формат 60х90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 155 экз.) Изд. № 68.

Индекс 66093. Цена свободная.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77–37987
от 2 ноября 2009 г. выд. Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Отпечатано в типографии Издательства
Петрозаводского государственного университета
185910, Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

УДК 504.75.591.67.616.9

ЕКАТЕРИНА ЯКОВЛЕВНА ГРЕФ

соискатель кафедры биологии и разведения животных факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
university@rgatu.ru

АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КОРОВУШКИН

доктор биологических наук, профессор кафедры частной зоотехнии и кормления животных факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
university@rgatu.ru

СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА НЕФЕДОВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и разведения животных факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
nefedova-s-a@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ *BUNYAVIRUS HANTAVIRUS* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДОВОГО СОСТАВА ПЕРЕНОСЧИКОВ ИНФЕКЦИИ

В подтаежной и лесостепной ландшафтно-географических зонах в качестве реакционных систем – индикаторов возможно использование мелких млекопитающих – переносчиков геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС). В районах, загрязненных экотоксикантами, полевка обыкновенная, полевка рыжая и крыса пасюк подвержены инфицированности ГЛПС соответственно на 7,5, 9,4 и 8,0 % чаще, чем в экологически чистой части подтаежной зоны, что явно указывает на прямую корреляцию резистентности к заболеванию ГЛПС этих представителей фауны от условий окружающей среды. В лесостепной зоне биоиндикатором является полевка обыкновенная, восприимчивость к ГЛПС которой в условиях экотоксикации среды обитания возрастает на 7,3 %.

Ключевые слова: ландшафтно-географические зоны, экологические токсиканты, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, видовой состав переносчиков ГЛПС

В ряде регионов России техногенное воздействие на территории различных ландшафтно-географических зон достигло таких масштабов, что его следует воспринимать как проблему глобального экологического кризиса. Рязанская область является интересной для экологического мониторинга территорией, так как интересующие нас зоны – подтаежную и лесостепную – можно разбить на два типа – экологически чистую часть и загрязненную экотоксикантами в результате антропогенного влияния (химическая промышленность, подземное хранение газа, сельскохозяйственное производство и т. д.). Важным при экологическом мониторинге является и то, что над частью районов области в 1986 году выпали радиоактивные осадки после аварии на Чернобыльской АЭС.

При экологическом мониторинге территорий, загрязненных радионуклидами и тяжелыми металлами, в качестве реакционных систем – индикаторов, по нашему мнению, можно использовать биологические объекты – переносчики инфекционных заболеваний, реакция которых на изменения среды отражается как на их собственном иммунитете, так и на здоровье населения

в ареале их обитания. Таким образом, актуальным является экологический мониторинг инфицированности геморрагической лихорадкой с почечным синдромом в зависимости от видового состава переносчиков инфекции внутри одной ландшафтно-географической зоны с районами различной экотоксикации [1], [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На антиген хантавируса исследованы 2752 особи мелких млекопитающих 10 видов (кутора (*Neomys fodiens*), бурозубка обыкновенная (*Sorex araneus*), мышь домовая (*Mus musculus*), мышь лесная (*Apodemus uralensis*), мышь полевая (*Apodemus agrarium*), мышь-малютка (*Microtus minutus*), серая крыса пасюк (*Rattus norvegicus*), полевка водяная (*Arvicola terrestris*), полевка обыкновенная (*Microtus arvalis*), полевка рыжая (*Clethrionomys glareolus*)), отловленных в 20 районах Рязанской области (Ермишинский, Захаровский, Кадомский, Кораблинский, Милославский, Михайловский, Ново-Деревенский, Пронский, Пителинский, Путятинский, Рыбновский, Сапожковский, Сараевский, Скопинский,

Старожиловский, Ухоловский, Чучковский, Шацкий, Шиловский, г. Рязань).

Для обнаружения антигена хантавируса у мелких млекопитающих использован прямой вариант иммуноферментного анализа в модификации с тест-системой производства Института полиомиелита и вирусных энцефалитов им. М. П. Чумакова РАМН (иммуноферментная тест-система «Хантагност» для выявления хантавирусного антигена). Постановку реакции осуществляли в соответствии с прилагаемыми к тест-системам инструкциями, учет результатов

производили с помощью мультискана MS-300 производства Финляндии с учетом оптической плотности при длине волны 492 нм и визуально.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мы составили карту Рязанской области с учетом экотоксикации территории промышленными предприятиями (рис. 1).

В табл. 1 приведена экотоксикация от промышленных предприятий в лесостепной и подтаежной зонах Рязанской области.

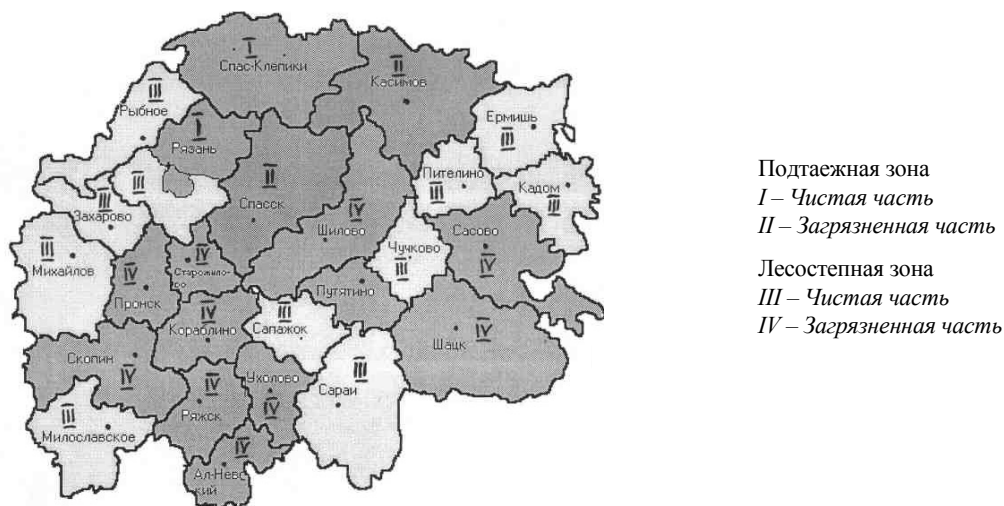


Рис. 1. Чистые и загрязненные экотоксикантами промышленных производств районы Рязанской области

Таблица 1
Основные экотоксиканты лесостепной и подтаежной территорий области при промышленном производстве

Экотоксикант	ПДК	ед. изм.	Ландшафтно-географические зоны							
			подтаежная				лесостепная			
			неблагополучная		благополучная		неблагополучная		благополучная	
			концентрация элемента							
			мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
Атмосфера										
Свинец	0,007	мг/м ³	3,200	5,600	0,003	0,005	2,700	4,800	0,005	0,006
Мышьяк	0,500	мг/м ³	0,500	1,700	0,100	0,500	0,700	2,100	0,200	0,400
Аммиак	0,200	мг/м ³	3,100	5,000	0,090	0,100	2,400	4,800	0,100	0,300
Ацетон	0,350	мг/м ³	1,700	3,900	0,030	0,080	0,900	2,800	0,040	0,100
Сероуглерод	0,005	мг/м ³	1,200	3,700	0,001	0,003	0,900	3,900	0,002	0,003
Формальдегид	0,035	мг/м ³	0,400	1,200	0,015	0,020	0,700	1,400	0,010	0,015
Гидросфера										
Цинк	1,000	мг/л	11,100	19,400	0,700	0,900	3,400	5,000	0,600	0,800
Свинец	0,100	мг/л	0,900	1,500	0,050	0,090	0,080	0,130	0,040	0,100
Мышьяк	0,050	мг/л	0,040	0,100	0,020	0,030	0,080	0,380	0,010	0,060
Медь	1,000	мг/л	2,000	6,000	0,090	0,600	0,050	2,000	0,070	0,500
Литосфера										
Свинец	32,000	мг/кг	31,700	34,500	29,200	31,800	30,200	35,200	28,900	33,400
Кадмий	1,000	мг/кг	34,500	34,500	0,090	0,500	0,200	1,600	0,100	0,700
Цинк	23,000	мг/кг	21,100	25,300	20,100	22,600	21,000	24,800	19,800	22,300
Никель	85,000	мг/кг	84,900	87,400	81,600	83,100	82,10	86,200	79,600	82,400
Хром	0,050	мг/кг	0,320	0,780	0,010	0,020	0,240	0,650	0,020	0,040

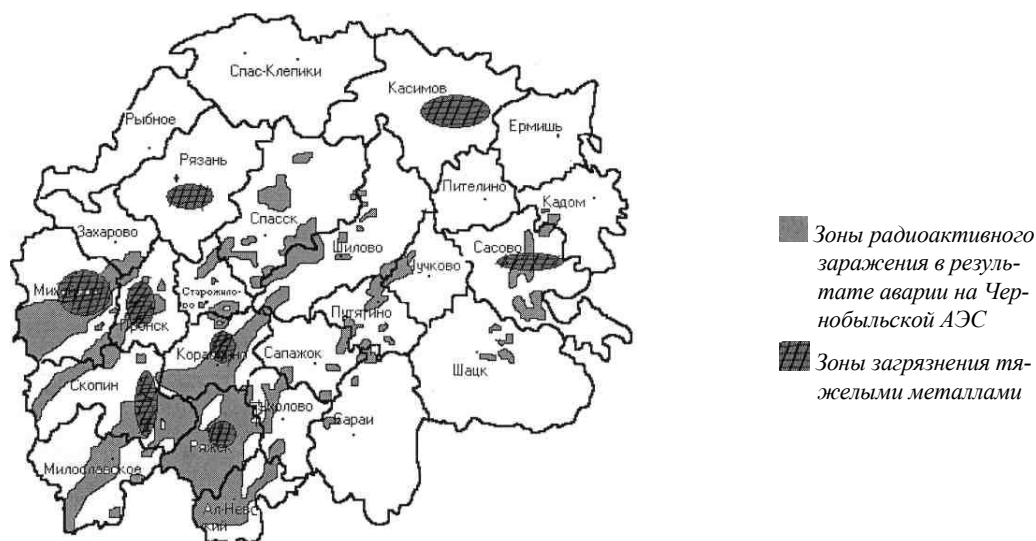


Рис. 2. Территории Рязанской области, одновременно загрязненные радионуклидами, и экотоксикантами промышленных производств

Таблица 2

Загрязнение Cs^{137} ландшафтно-географических зон Рязанской области

Ландшафтно-географическая зона	Характеристика ландшафтно-географических зон по загрязнению Cs^{137} , Бк/кг			
	неблагополучная часть (грязная)		благополучная часть (чистая)	
	до 20,00 см	20,00...40,00 см	до 20,00 см	20,00...40,00 см
Лесостепная	40,20	17,40	24,40...26,00	15,00...17,10
	94,90...162,80	29,60...71,40	43,80	32,00
	70,50	20,90	57,70	31,90
Подтаежная	25,00...29,30	15,20...18,00	24,00...24,70	12,00...17,00
	57,30...67,20	20,40...32,30	27,30...45,00	16,50...16,70

При анализе содержания экотоксикантов промышленного производства в воздухе было отмечено, что в подтаежной зоне содержание свинца, мышьяка, аммиака, ацетона, сероуглерода и формальдегида в загрязненной части подтаежной зоны превышает ПДК. Так, по нашим исследованиям, в подтаежной зоне превышение свинца составило $0,8 \text{ мг/м}^3$, аммиака – $0,2 \text{ мг/м}^3$, ацетона – $1,1 \text{ мг/м}^3$, что больше, чем в загрязненной части лесостепной зоны. Мышьяка, сероуглерода, формальдегида соответственно на $0,4 \text{ мг/м}^3$, $0,2 \text{ мг/м}^3$, $1,1 \text{ мг/м}^3$ больше в лесостепной, чем в подтаежной зоне.

На карте мы отразили территории Рязанской области, одновременно загрязненные радионуклидами и экотоксикантами промышленных производств (рис. 2).

Анализ данных о загрязнении территории ландшафтно-географических зон Рязанской области Cs^{137} показывает, что в лесостепной зоне (Путятинский, Чучковский, Кадомский, Шилковский районы) зараженность ниже, чем в подтаежной (Рязанский, Клепиковский, Спасский, Сасовский районы) на $10,90...101,60 \text{ Бк/кг}$ в исследуемых почвах на глубине до 20,00 см и на $5,10...14,70 \text{ Бк/кг}$ на глубине 20,00...40,00 см (табл. 2).

Показатели внутри подтаежной зоны демонстрируют, что зараженность в загрязненной зоне в $1,20...3,70$ раза выше, чем в чистой, а внутри лесостепной зоны – в $1,17...1,49$ раза выше, чем в чистой, при исследовании глубины заражения до 20,00 см.

Зараженность почвы снижается на глубинах 20,00...40,00 см, в загрязненной части подтаежной зоны – до $71,40...17,40 \text{ Бк/кг}$, в загрязненной части лесостепной зоны – до $32,30...15,20 \text{ Бк/кг}$, что меньше в $2,31...2,28$ раза в подтаежной и в $2,15...1,64$ раза в лесостепной зоне, чем в поверхностном слое до 20,00 м.

Характеристика видового состава переносчиков ГЛПС в зависимости от ареала в ландшафтно-географических зонах Рязанской области представлена на рис. 3 и 4.

Так, численность инфицированных хантавирусами мелких млекопитающих в экологически чистых районах подтаежной зоны с 2003 по 2007 год гораздо ниже, чем на территории, где в результате промышленной деятельности произошло загрязнение экотоксикантами.

Согласно нашим исследованиям видового состава переносчиков ГЛПС, на территории экологически чистой подтаежной зоны высокорезистентными к вирусу являются мыши полевые, бурозуб-

ки обыкновенные и мыши домовые независимо от экологических условий в зоне их ареала.

Следует отметить, что полевка рыжая и крыса пасюк находятся в группе риска по инфицированности ГЛПС, явно имеют низкий иммунитет к вирусу, причем независимо от экологических условий обитания в подтаежной зоне. В районах, загрязненных экотоксикантами, полевка обыкновенная и крыса пасюк подвержены инфицированности хантавирусами соответственно на 7,5 и 8,0 % чаще, чем в экологически чистой части подтаежной зоны, что явно указывает на прямую корреляцию резистентности к заболеванию ГЛПС этих представителей фауны от экологических условий окружающей среды.

В лесостепной ландшафтно-географической зоне области также прослеживается тенденция к снижению резистентности к ГЛПС у животных в той части зоны, где расположены промышленные предприятия, оказывающие негативное влияние на среду обитания.

В этой зоне в качестве биоиндикаторов в первую очередь следует указать полевку обыкновенную и крысу пасюк, инфицированность хантавирусами которых в условиях экотоксикации среды обитания возрастает на 7,3 и 3,8 %. Рыжая полевка в лесостепной зоне не является маркерным биоиндикатором. Независимо от состояния окружающей среды эти млекопитающие имеют высокую резистентность к ГЛПС в лесостепной зоне. В отношении остальных представителей переносчиков хантавирусов следует отметить, что загрязненность территории экотоксикантами снижает резистентность животных в среднем на 2,0...4,0 %.

Таким образом, при проведении профилактических работ по борьбе с ГЛПС следует обращать внимание не на весь видовой состав переносчиков заболевания, а лишь на тех, кто является биоиндикатором состояния окружающей среды.

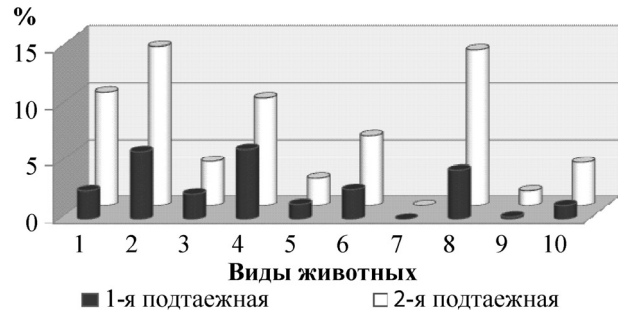


Рис. 3. Зараженность хантавирусами мелких млекопитающих в подтаежной зоне: 1-я подтаежная – экологически чистая; 2-я подтаежная – загрязненная экотоксикантами; 1 – полевка обыкновенная; 2 – полевка рыжая; 3 – полевка водяная; 4 – мышь лесная; 5 – мышь домовая; 6 – мышь-малютка; 7 – мышь полевая; 8 – крыса пасюк; 9 – бурозубка обыкновенная; 10 – кутора обыкновенная

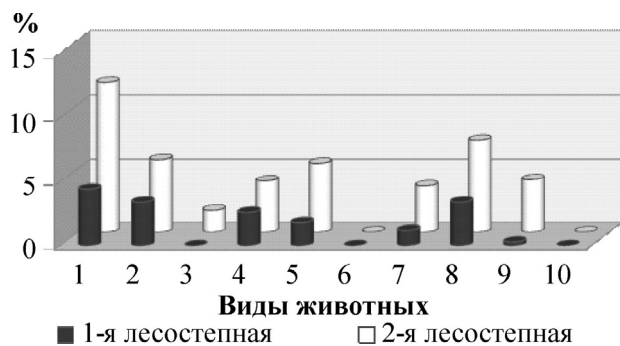


Рис. 4. Зараженность хантавирусами мелких млекопитающих в лесостепной зоне: 1-я лесостепная – экологически чистая; 2-я лесостепная – загрязненная экотоксикантами; 1 – полевка обыкновенная; 2 – полевка рыжая; 3 – полевка водяная; 4 – мышь лесная; 5 – мышь домовая; 6 – мышь-малютка; 7 – мышь полевая; 8 – крыса пасюк; 9 – бурозубка обыкновенная; 10 – кутора обыкновенная

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака Т. В., Куликова Г. Г., Гущева Е. Г., Казакова М. В. Кадастр особо охраняемых объектов Рязанской области. М.: ГУГК СССР, 1990. 60 с.
2. Коротков В. Б. Эпидемиологический надзор за геморрагической лихорадкой с почечным синдромом в Саратовской области: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Саратов, 1994. 24 с.

УДК 595.789: 591.9

ВЯЧЕСЛАВ ВАСИЛЬЕВИЧ ГОРБАЧ

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии
и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет
gorbach@psu.karelia.ru

**К ФАУНЕ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (*LEPIDOPTERA: HESPERIOIDEA, PAPILIONOIDEA*)
КАРЕЛИИ. KARELIA LADOGENSIS: ВАЛААМ**

В работе изложены результаты фаунистических исследований на о. Валаам в период с 26 июля по 2 августа 2009 года. Всего отмечено 28 видов дневных бабочек, в том числе 5, внесенных в Красную книгу Республики Карелия.

Ключевые слова: булавоусые чешуекрылые, *Karelia ladogensis*, о. Валаам, видовой состав, краснокнижные виды

Булавоусые, или дневные чешуекрылые, – одна из наиболее хорошо изученных групп насекомых. Состав карельской фауны известен довольно полно, дальнейшие исследования вряд ли способны внести в список видов сколько-нибудь существенные изменения, и они необходимы прежде всего для изучения особенностей современного распространения бабочек, динамики их встречаемости и обилия. В Карелии существуют обширные территории, на которых исследования никогда не проводили, и много интереснейших районов, в которых бабочек не собирали уже более полувека [1]. К числу территорий, требующих подробного изучения, относится Северное Приладожье, провинция *Karelia ladogensis*, согласно принятому биогеографическому делению Фенноскандии [6]. Начиная с конца XVIII века бабочек здесь собирали многие натуралисты, между тем в имеющихся публикациях отсутствуют сведения о находках целого ряда видов, в том числе и тех, которые отмечены для сопредельных территорий в качестве вполне обычных. К настоящему времени лучше других исследована фауна тех небольших частей провинции, что входят в состав Финляндии и Ленинградской области, а также района Калаамы – Хелюля – Рускеала – Вяртсиля в Республике Карелия [1], [4], [9], [10]. Особый интерес к Приладожью вызван еще тем обстоятельством, что здесь обитают многие краснокнижные виды [2]. Безусловный приоритет в этом ряду принадлежит аполлону (*Parnassius apollo*), одному из двух карельских видов бабочек, внесенных в списки исчезающих животных Международного союза охраны природы (IUCN). Достоверных свидетельств о находках этого вида всего два. Первое упоминание датировано 12–13 июля 1785 года и принадлежит Н. Я. Озерецковскому: «Перед мысом Леппеними... лежит деревушка Гунук, от которой, едуци водою, надобно объезжать мыс, за коим Имбилацкая губа верст на восемь внутрь земли простирается. <...> В конце сей губы лежит длинный островок, Кили-саари называемый... В сем месте водятся пригожие

большие бабочки аполлоны, которых изловил я тут двух» [3]. Другая находка, сделанная финскими исследователями близ Кирьявалахти, относится к 1995 году [5]. Недостаток данных о видовом составе и структуре фауны, распространении редких видов и состоянии их популяций – следствие низкой интенсивности и кратковременности исследовательской деятельности в Приладожье. Настоящая работа призвана дополнить имеющиеся сведения о местной фауне булавоусых чешуекрылых.

Материал собирали на о. Валаам Ладожского озера с 26 июля по 2 августа 2009 года. Всего найдено 28 видов булавоусых чешуекрылых, список которых приводится ниже.

В большинстве своем это типичные для середины лета карельские бабочки. Самым многочисленным видом была чернушка кофейная, необычно высокое обилие отмечено для репейницы (рис. 1). Пять из зарегистрированных видов внесены в Красную книгу Республики Карелия [2]. Махаон, толстоголовка пестрая и воловий глаз имеют статус редких видов, но они довольно широко распространены в регионе и меньше других подвержены опасности исчезновения. Махаон встречается везде, но обычно в небольшом числе, на Валааме найдены гусеницы на гирчовнице (*Thyselum palustre*) и дуднике (*Angelica sylvestris*). Толстоголовка пестрая и воловий глаз, хоть и отличаются локальным распространением, известны из большинства южных районов Карелии. На Валааме эти виды изредка встречались по обочинам дорог, на сухих лугах и полянах. Более интересными оказались находки двух краснокнижных видов с неопределенным статусом – червонца пятнистого и перламутровки ниобы. Их позиционирование в качестве вполне обычных видов [7] не подтверждается современными данными: до экспедиции на Валаам мы располагали сведениями лишь о единичных находках первого вида в Прионежье [1] и не имели никаких материалов по второму виду. На острове эти бабочки населяют поляны в сухих сосняках и скальные обнажения в глубине острова и вдоль береговой линии. Примечательно, что

здесь перламутровка ниоба не редкость, тогда как близкородственный широко распространенный в Южной Карелии вид перламутровка адиппа, по-видимому, отсутствует вовсе. Кроме этих видов следует упомянуть сенницу обыкновенную. В старых работах [7], [8] эта бабочка отмечена для всей территории Карелии, а в настоящее время известна лишь из западных, сопредельных с Финляндией районов (Карельский перешеек, Светогорск, Толвоярви, Костомукша, Алакуртти), где местами вполне обычна [1]. Обычна она и на Валааме, встречаясь в тех же самых местообитаниях, что и два предыдущих вида.

Наиболее интересные группировки чешуекрылых формируются на скальных обнажениях и на сухих полянах в сосняках (рис. 2). Помимо самых обычных бабочек здесь почти всегда встречаются сенница обыкновенная, перламутровка ниоба, червонец пятнистый, воловий глаз и изредка толстоголовка пестрая. Кажется, что эти местообитания вполне пригодны и для существования более редких в Фенноскандии видов чешуекрылых. Во многих местах встречается заячья капуста (*Hylotelephium decumbens*), кормовое растение личинок аполлона и голубянки *Scolitantides orion*, везде

в большом числе присутствует тимьян *Thymus serpyllum*, листьями которого питаются гусеницы голубянок *Maculinea arion* и *Pseudophilotes vicrama*, а нектаром – взрослые особи многих видов дневных бабочек. Подобные сухие биотопы являются излюбленным местообитанием и крупноглазки *Hyponephele lycaon*. На время нашей экспедиции выпадает лёт трех видов – аполлона, крупноглазки *Hyponephele lycaon* и голубянки *Maculinea arion* (*S. orion* и *P. vicrama* летают раньше – в июне). Ни один из перечисленных видов на острове не обнаружен. Что касается голубянки *Maculinea arion*, то остается гипотетическая возможность нахождения небольших группировок этого вида в неохваченных экскурсионными маршрутами местообитаниях, поскольку ее распространение может быть сильно ограничено облигатной связью гусениц с муравьями-хозяевами *Myrmica sabuleti* [11], редкими в наших широтах. А вот аполлона и крупноглазки, скорее всего, на острове нет, поскольку в противном случае ими были бы заселены большинство пригодных местообитаний подобно тому, что наблюдали у воловьего глаза, который хоть и в очень небольшом числе, но попадался во многих местах.

С П И С О К в и д о в

Семейство **HESPERIIDAE** Latreille, 1809 – ТОЛСТОГОЛОВКИ

1. *Pyrgus alveus* (Hübner, [1803]) – Толстоголовка пестрая
2. *Thimelicus lineola* (Ochenheimer, [1808]) – Толстоголовка-тире
3. *Hesperia sylvanus* (Esper, [1778]) – Толстоголовка-лесовичок

Семейство **PAPILIONIDAE** Latreille, [1802] – ПАРУСНИКИ

4. *Papilio machaon* Linnaeus, 1758 – Махаон

Семейство **PIERIDAE** Duponchel, [1835] – БЕЛЯНКИ

5. *Pieris rapae* (Linnaeus, 1758) – Репница
6. *Pieris napi* (Linnaeus, 1758) – Брюквенница
7. *Gonepteryx rhamni* (Linnaeus, 1758) – Крушинница

Семейство **LYCAENIDAE** [Leach], [1815] – ГОЛУБЯНКИ

8. *Lycaena phlaeas* (Linnaeus, 1761) – Червонец пятнистый
9. *Lycaena virgaurea* (Linnaeus, 1758) – Червонец огненный
10. *Plebejus argus* (Linnaeus, 1758) – Голубянка аргус
11. *Plebejus idas* (Linnaeus, 1761) – Голубянка идас
12. *Plebejus optilete* (Knoch, 1781) – Голубянка торфяниковая
13. *Aricia artaxerxes* (Fabricius, 1793) – Голубянка артаксеркс
14. *Polyommatus icarus* (Rottemburg, 1775) – Голубянка икар
15. *Polyommatus semiargus* (Rottemburg, 1775) – Голубянка лесная

Семейство **NYMPHALIDAE** Swainson, 1827 – НИМФАЛИДЫ

16. *Nymphalis urticae* (Linnaeus, 1758) – Крапивница
17. *Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758) – Репейница
18. *Melitaea athalia* (Rottemburg, 1775) – Шашечница аталия
19. *Argynnis paphia* (Linnaeus, 1758) – Перламутровка большая лесная
20. *Argynnis niobe* (Linnaeus, 1758) – Перламутровка ниоба
21. *Argynnis aglaja* (Linnaeus, 1758) – Перламутровка аглая
22. *Clossiana selene* ([Dennis & Schiffermüller], 1775) – Перламутровка селена

Семейство **SATYRIDAE** Boisduval, [1833] – БАРХАТНИЦЫ

23. *Pararge maera* (Linnaeus, 1758) – Бархатка большая
24. *Coenonympha pamphilus* (Linnaeus, 1758) – Сенница обыкновенная
25. *Coenonympha glycerion* (Borkhausen, 1788) – Сенница луговая
26. *Aphantopus hyperantus* (Linnaeus, 1758) – Глазок цветочный
27. *Erebia ligea* (Linnaeus, 1758) – Чернушка кофейная
28. *Maniola jurtina* (Linnaeus, 1758) – Воловий глаз



Рис. 1. Бабочки Валаама: а – репейница,
б – чернушка кофейная, в – сенница обыкновенная



Рис. 2. Скальные обнажения, покрытые лишайниками и ксерофильной растительностью, – основные места обитания редких видов бабочек на острове

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен С. Н. Лябзиной – идейному вдохновителю и главному организатору экспедиции, А. В. Полевому и С. Д. Узенбаеву за помощь в сборе материала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 08-04-98837 р_север_а, и целевой программы «Экология и природные ресурсы» Министерства сельского, рыбного хозяйства и экологии Республики Карелия, договор Д – 17 от 16.06.2009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбач В. В., Резниченко Е. С. Видовой состав и распространение дневных бабочек (*Lepidoptera, Diurna*) в Юго-Восточной Финноскандии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2009. № 7 (101). С. 31–39.
2. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
3. Озерецковский Н. Я. Путешествие по озерам Ладожскому и Онежскому. Петрозаводск: Карелия, 1989. 208 с.
4. Цветков Е. В. Булавоусые чешуекрылые Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Электронный ресурс]. СПб., 2005. 1 электронный опт. диск (CD-ROM).
5. Aarnio H., Ojalainen P. Niityt kirjovat Karjalaa // Suomen Luonto. 1995. № 9. S. 22–25.
6. Ahti T., Hämmet-Ahti L., Jalas J. Vegetation zones and their sections in north-western Europe // Ann. Bot. Fenn. 1968. Vol. 5. P. 169–211.
7. Kaisila J. Die Macrolepidopteren Fauna des Aunns – Gebietes // Acta Entomol. Fenn. 1947. Bd. 1, hf. 1. 112 s.
8. Peltonen O. Vienan perhosfaunasta // Ann. Entomol. Fenn. 1947. Vol. 13. № 3. S. 131–144.
9. Saarinen K., Jantunen J., Kuitunen K., Marttila O. Ihmistoiminnan vaikutus Suomen ja Venäjän Karjalan luontoympäristöön (KARMI). Raportti 3. Päiväperhoset, toinen tutkimusvuosi 1998. Joutseno: Karjalan ympäristötieteen laitos, 1998. 19 s.
10. Sotavalta O. Provincial distribution of Finnish Macrolepidoptera // Notul. Entomol. 1987. Vol. 67. № 4. P. 187–205.
11. Thomas J. A., Elmes G. W., Wardlaw J. C., Woysiechowski M. Host specificity among Maculinea butterflies in Myrmica ant nests // Oecologia. 1989. Vol. 78. № 4. P. 452–457.

УДК 582,594

ТАМАРА ЮРЬЕВНА ДЯЧКОВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет
orchid@petrsu.ru

***EPIPACTIS PALUSTRIS* (L.) CRANTZ НА БОЛОТАХ КАРЕЛИИ**

В статье приводятся результаты изучения редкого в Карелии вида растений *Epipactis palustris* (L.) Crantz – дремлика болотного. Вид находится на северной границе своего ареала, встречается только в южных флористических районах. Изучены распространение, встречаемость, типы сообществ с участием вида, состояние ценопопуляций, морфология растений разных возрастных групп.

Ключевые слова: редкий вид, ценопопуляция, эколого-ценотические группы, возрастная структура ценопопуляции

Epipactis palustris – дремлик болотный, евроазиатский вид, многолетнее травянистое длиннокорневищное растение из семейства *Orchidaceae*. На территории Карелии вид находится у северной границы своего ареала и встречается только в южных флористических районах: Приладожском, Олонецком, Пудожском, Суоярвском, Заонежском и Водлозерском. Встречаемость – 2–3 балла [3] (см. рисунок). *E. palustris* занесен в Красную книгу Республики Карелия [4] (2007) с категорией 3 (LC), охраняется и на сопредельной с Карелией территории Финляндии [10]. Как нуждающееся в охране растение болот *E. palustris* включен в III группу, объединяющую виды, находящиеся в республике на границе своего ареала [7].

В ходе анализа гербарных коллекций семейства *Orchidaceae* выяснилось, что *E. palustris* в Карелии встречается в 5 типах местообитаний из 14, выявленных для представителей данного семейства [2]. Это, в первую очередь, болотные экосистемы, также низинные луга, редко леса и рудеральные местообитания.

Сообщества с *E. palustris* относятся в Карелии к евтрофному классу, ассоциации *Equisetum palustre* – *Sphagnum warnstorffii*, субассоциации *E. palustre* – *Sphagnum warnstorffii*, выделенной О. Л. Кузнецовым [5]. Они исследованы на болотах Южной Карелии на охраняемых и неохраняемых территориях на 13 болотных участках. Все сообщества характеризуются наличием древесного яруса (сомкнутость крон – 0,1–0,2) из *Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies* или *Picea obovata*, а также богатого по составу травяно-кустарничкового яруса. Всего в геоботанических описаниях сообществ зарегистрирован 91 вид сосудистых растений и 21 вид мохообразных. Среднее число видов – 33.

Анализ геоботанических описаний фитоценозов болот с *E. palustris* показал, что в их составе – виды всех 12 эколого-ценотических групп (ЭЦГ) растений болот [6], но с разной степенью встречаемости. Наиболее часто в сообществах вместе с *E. palustris* произрастают

виды эколого-ценотических групп *Baeothryon alpinum* и *Saxifraga hirculus*. Следует отметить, что из ЭЦГ *Saxifraga hirculus*, включающей 32 вида, 18 видов встречаются в исследованных сообществах; из ЭЦГ *Baeothryon alpinum* в описаниях были отмечены 18 из 25 видов. Высококонстантными видами (K = III–V) из ЭЦГ *Baeothryon alpinum* являются: *Salix rosmarinifolia*, *Carex dioica*, *Sphagnum warnstorffii*, *S. teres*, *Aulacomnium palustre*, из ЭЦГ *Saxifraga hirculus* такие классы константности имеют 4 вида: *Bistorta major*, *Rumex acetosa*, *Poa pratensis*, *Listera ovata*.

Часть исследованных сообществ относятся к варианту *Bistorta major* субассоциации *Equisetum palustre*–*Sphagnum warnstorffii* [6]. При анализе отдельно этого варианта субассоциации из ведущих двух ЭЦГ некоторые виды исключаются и соотношение высококонстантных видов в них изменяется в пользу ЭЦГ *Saxifraga hirculus*, в которой они составляют уже 28 %, а в ЭЦГ *Baeothryon alpinum* – только 20 %. Также выше видовая насыщенность сообществ, среднее число видов – 39.

Исследованные ценопопуляции на болотах «Тройное», «Орхидное» и «У карьера» отличаются большой численностью, которая по балльной оценке достигает 4–5 баллов [8]. Плотность растений иногда достигала 50 побегов на 1 м². Известно, что у *E. palustris* базовый возрастной спектр левосторонний, с большим преобладанием ювенильных и иматурных растений [9]. Возрастная структура исследованных ценопопуляций также характеризовалась преобладанием растений прегенеративного возрастного периода.

Для прогнозирования состояния вида в сообществе актуальным является проведение многолетних наблюдений за динамикой его основных организменных (морфологические признаки отдельных побегов) и популяционных (численность, плотность растений, пространственная и возрастная структура) признаков.

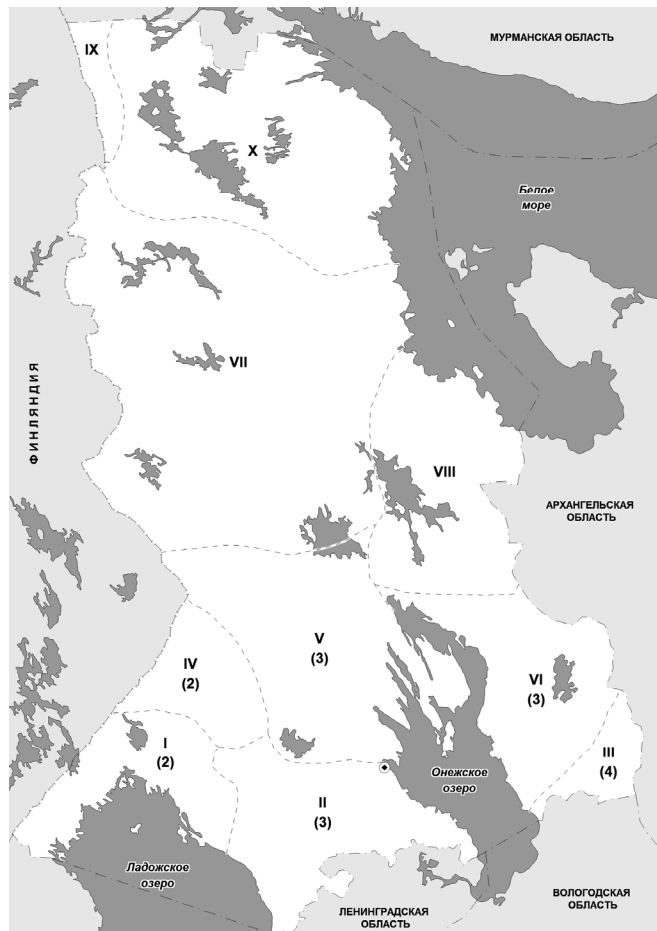
Мониторинг состояния ценопопуляции *E. palustris* осуществляется на постоянной пробной

площади, заложенной на болоте «У карьера» (Пряжинский муниципальный район). Вид произрастает в составе сообщества *Betula pubescens* – *Bistorta major* + *Epipactis palustris* – *Sphagnum warnstorffii*. Высота березы в среднем составляет 2–2,5 м, единичные деревья достигают высоты 5 м; диаметр стволов – 10–12 см. В травяно-кустарничковом ярусе кроме указанных доминантов достаточно обильно представлены *Rumex acetosa*, *Menyanthes trifoliata*, *Equisetum fluviatile*. В моховом ярусе содоминантом является *Sphagnum teres*. Всего в составе сообщества 22 вида сосудистых растений и 8 видов мхов.

Ценопопуляция *E. palustris* насчитывает несколько сотен побегов, ее плотность составляет в среднем 28–30 побегов на 1 м². На отдельных учетных площадках плотность достигает 40–50 побегов. Самоподдержание осуществляется в основном вегетативным путем. Ценопопуляция полночленная, ее возрастная структура характеризуется следующими особенностями. Среди особей вегетативного происхождения выделены ювенильные (j), имматурные (im), виргинильные (v) и генеративные растения, причем последние пред-

ставлены двумя возрастными состояниями: молодые (g₁) и зрелые (g₂) генеративные растения. Ювенильные растения высотой 5–7 см имеют 1–2 листа небольших размеров (длина – от 3 до 5 см, ширина – от 0,8 до 1,5 см); имматурные растения высотой до 12–18 см имеют 3–4 листа длиной от 6 до 8 см и шириной от 1,6 до 2,0 см; виргинильные растения высотой от 20 до 50 см имеют 5–6 листьев длиной 9–20 см и шириной 2,1–3,5 см (у всех вегетативных побегов измеряли второй лист снизу). Молодые генеративные растения высотой 25–50 см несут 5–6 листьев и соцветие длиной от 3–5 см из 2–4 цветков (в кисти может закладываться до 6 цветков, но раскрываются не более 4), зрелые генеративные растения имеют высоту до 60–70 см и соцветие длиной от 8 до 15 см, состоящее из 7–12 цветков. После цветения и плодоношения генеративные побеги отмирают, поэтому в ценопопуляции отсутствуют сенильные растения.

Морфологические параметры побегов разных возрастных групп в северных популяциях *E. palustris* немного ниже, чем у растений этого вида в Московской области [1].



Встречаемость *Epipactis palustris* в Карелии:

I–X – флористические районы: I – Приладожский, II – Олонецкий, III – Пудожский, IV – Суоярвский, V – Заонежский, VI – Водлозерский, VII – Кемский, VIII – Выгозерский, IX – Имандровский, X – Топозерский; в скобках встречаемость (по [3]): 2 – вид известен из 2–5 пунктов, 3 – редкий вид, известный из 6–20 пунктов, 4 – нередкий вид

За годы наблюдений проективное покрытие вида в сообществе составляло 10–12 %. По динамике общей численности и отдельно цветущих растений можно сказать, что заметных флуктуаций не наблюдалось. Возрастной спектр ценопопуляции характеризуется преобладанием возрастных групп прегенеративного периода, генеративные растения составляют около 30 % от общего числа растений в ценопопуляции.

Из вышеизложенного следует, что состояние *E. palustris* в Карелии в типичных для этого вида

местообитаниях в настоящее время не вызывает опасений. Угрожающими факторами существования вида на эвтрофных болотах и низинных лугах могут быть осушение болот и рекультивация лугов.

E. palustris в Карелии охраняется в заповеднике «Кивач», национальном парке «Водлозерский» и на территориях ряда болотных заказников. Планируется создание ботанического заказника, в территорию которого будут включены болота «Учебное» и «У карьера».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрамеева М. Г. и др. Род Дремлик // Биологическая флора Московской области. Вып. 13. М.: Полиэкс, 1997. С. 50–87.
2. Дьячкова Т. Ю., Лантратова А. С., Марковская Н. В. Семейство Orchidaceae во флоре Карелии // Ботан. журн. 2004. Т. 89. № 10. С. 1616–1623.
3. Кравченко А. В., Гнатюк Е. П., Кузнецов О. Л. Распространение и встречаемость сосудистых растений по флористическим районам Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2000. 75 с.
4. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
5. Кузнецов О. Л. Топо-экологическая классификация растительности болот Карелии // Динамика болотных экосистем северной Евразии в голоцене. Петрозаводск: Изд-во КарЦ РАН, 2000. С. 28–34.
6. Кузнецов О. Л. Использование эколого-ценотических групп видов при разработке классификации растительности болот Карелии // Вестник Томского государственного университета. 2002. № 2. С. 111–115.
7. Кузнецов О. Л., Дьячкова Т. Ю. Редкие и охраняемые сосудистые растения болот Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 8. Петрозаводск, 2005. С. 133–137.
8. Программа и методика наблюдений за ценопопуляциями видов растений Красной книги СССР. М.: Изд-во ВАСХ-НИИ, 1986. 34 с.
9. Татаренко И. В. Орхидные России: жизненные формы, биология, вопросы охраны. М: Аргус, 1996. 207 с.
10. Putkilokasvien uhanalaisuuden arviointi. Helsinki, 2002. 194 p.

УДК 575.174.015.3

ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА ФЕДОРЕНКО

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики, Институт биологии Карельского научного центра РАН

fedorenko_om@mail.ru

МАРИНА ВИТАЛЬЕВНА ГРИЦКИХ

младший научный сотрудник лаборатории генетики, Институт биологии Карельского научного центра РАН

genmg@mail.ru

ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА ЛЕБЕДЕВА

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент, руководитель лаборатории генетики, заместитель директора по научной работе, Институт биологии Карельского научного центра РАН

olebedeva@krc.karelia.ru

АЛЕКСАНДР ФЕДОРОВИЧ ТИТОВ

доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, руководитель лаборатории экологической физиологии растений Института биологии, председатель Президиума Карельского научного центра РАН

titov@krc.karelia.ru

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) HEYNH., РАСПОЛОЖЕННЫХ НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА ВИДА

В статье обсуждается вопрос об уровне генетического разнообразия периферических популяций. Представлены результаты изучения генетической изменчивости природных популяций *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (RAPD-анализ), находящихся на северной границе ареала вида. Полученные данные дополняют существующие представления о генетическом полиморфизме краевых популяций.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., генетическое разнообразие, RAPD-маркеры, северная граница ареала вида, краевые популяции

Генетическое разнообразие является основой адаптивных и эволюционных изменений в популяциях и вместе с тем выступает одним из важнейших факторов их устойчивости [1], [8]. Поэтому вопросы о роли генетического полиморфизма и механизмах поддержания этого вида изменчивости составляют одну из центральных проблем популяционной генетики. Также к числу широко обсуждаемых относится и вопрос о величине популяционно-генетического разнообразия в центре и на периферии ареалов видов. Ранее, основываясь на результатах изучения хромосомной и морфологической изменчивости, исследователи склонялись к мнению, что степень полиморфизма почти всегда убывает по мере приближения к границе видового ареала и что периферические популяции зачастую мономорфны [5], [10], [11]. Появление и широкое применение метода электрофореза белков не только позволило выявить в природных популяциях существование огромной генетической изменчивости [4], но и по-иному рассматривать ее распределение по территории ареала. Так, Левонтин, учитывая высокую нестабильность условий существования на периферии ареала, под-

черкивал: «...в разное время отбираются совершенно разные генотипы. Не удивительно, что генная гетерозиготность здесь высокая...» [13].

Территория Карелии является северной границей ареала распространения арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) – модельного объекта многих генетических исследований. Самые северные его популяции известны в Карелии на широте 62°55', в Норвегии – 67°20'. Условия произрастания растений на северной границе ареала вида являются экстремальными из-за резких колебаний температур, дефицита тепла летом и холодных зим, значительной изменчивости фотопериодических условий. В таких условиях среды под влиянием естественного отбора неизбежно происходят изменения в распределении аллельных частот, связанные с разной приспособленностью генотипов.

Ранее с помощью изоферментного анализа нами была изучена генетическая вариабельность 10 природных популяций арабидопсиса северной части ареала вида [7], расположенных вдоль широтного градиента (61°16' – 62°12' с. ш.) на протяжении примерно 150 км. В результате было выявлено значительное генетическое разнообра-

зие северных природных популяций, почти в 2,5 раза превышающее уровень изменчивости популяций этого вида в центре ареала (Англия, 54°00' с. ш.) [9], а также превышение средних значений популяционных характеристик других самоопыляющихся видов растений [12] (табл. 1). Причем чем севернее располагалась популяция, тем, как правило, выше оказывалась доля полиморфных локусов ($P_{95\%}$): $r = 0,68$, $P < 0,05$.

В настоящей работе представлены результаты изучения генетического разнообразия природных популяций *A. thaliana*, расположенных на северной границе ареала вида, с помощью RAPD-анализа – метода, который имеет ряд достоинств и преимуществ, позволяя, в частности, исследовать геном в целом и выявлять полиморфизм большого числа локусов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе исследованы семь популяций арабидопсиса, расположенные на территории Карелии вдоль широтного градиента на протяжении около 200 км (географические координаты самой северной популяции – 62°55' с. ш., 34°25' в. д., а самой южной – 61°49' с. ш., 35°10' в. д.). Две популяции островные, расположены на островах Онежского озера – Радколье и Климецкий, остальные – континентальные. Названия континентальных популяций даны в соответствии с близлежащими населенными пунктами (д. Царевичи, ст. Шуйская, д. Косалма, с. Кончезеро, г. Медвежьегорск), а островных – по географическим названиям островов.

Материалом для молекулярно-генетического анализа послужили растения *A. thaliana*, выращенные в лабораторных условиях в смеси земли и песка (2 : 1) под люминесцентными лампами из семян, собранных в ходе экспедиции 2008 года. Выделение ДНК из листьев 30 взрослых растений каждой популяции проводили по протоколу

Мёллера и др. [14]. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) осуществляли с помощью шести RAPD-праймеров произвольных последовательностей: № 2 (5'-GTGTCGAGTC-3'), № 4 (5'-AGGTCTGACG-3'), № 7 (5'-GTCGATCGAG-3'), № 8 (5'-CGAGCCGATC-3'), OPC-5 (5'-GATGACCGCC-3'), P-01D (5'-AGCAGCGTCG-3'), («Синтол», Россия). Амплификацию ДНК проводили по следующему температурному профилю: начальная денатурация 2 мин при 94 °С, следующие 35 циклов по схеме 94 °С (60 с), 35 °С (40 с), 72 °С (40 с) и конечная элонгация 10 мин при 72 °С. Продукты амплификации разделяли методом электрофореза в 6-процентном полиакриламидном геле в TBE-буферном растворе. ПЦР-продукты окрашивали бромистым этидием и фотографировали в проходящем УФ-свете. Анализ молекулярной массы фрагментов осуществляли относительно маркера молекулярной массы (100 bp – 1 Kb) («Силекс», Россия).

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием стандартных подходов и методов, принятых в популяционно-генетических исследованиях [2], и пакетов программ POPGENE [18] и PHYLIP (<http://evolution.genetics.washington.edu>). Для этого были составлены бинарные матрицы, в которых присутствие или отсутствие в спектре одинаковых фрагментов ДНК обозначали как «1» или «0». Для определения уровня генетического разнообразия популяций вычисляли показатели генетического разнообразия: долю полиморфных локусов при 95-процентном и 99-процентном критериях (P), ожидаемую гетерозиготность (H_{exp}). Генетическую дифференциацию популяций определяли по коэффициенту генетической дистанции Нея (D_N) [15]. Кластерный анализ с формированием ветвей дендрограммы производили невзвешенным парно-групповым методом UPGMA (пакет программ PHYLIP).

Таблица 1

Показатели генетического разнообразия
в популяциях *A. thaliana*

Популяция	Географические координаты, с. ш.	$P_{95\%}$, %	$P_{99\%}$, %	H_{exp}
RAPD-анализ, карельские популяции				
Климецкий	61°49'	44,63	47,93	0,164 ± 0,018
Царевичи	62°01'	48,76	48,76	0,170 ± 0,017
Косалма	62°01'	29,75	36,36	0,110 ± 0,016
Шуйская	62°00'	34,71	39,67	0,121 ± 0,016
Радколье	62°05'	56,20	66,12	0,205 ± 0,017
Кончезеро	62°08'	17,36	23,97	0,048 ± 0,010
Среднее		38,57	43,80	0,136 ± 0,016
Медвежьегорск	62°55'	14,88	33,06	0,063 ± 0,018
Аллозимный анализ				
Карельские популяции [7]	61°16' – 62°12'	35,00	43,70	0,124 ± 0,056
Британские популяции [9]	54°00'	–	16,50	0,055
Самоопылители, среднее по 33 видам [12]	–	–	18,99	0,058

Примечание. $P_{95\%}$ и $P_{99\%}$ – доля полиморфных локусов при 95-процентном и 99-процентном критериях соответственно; H_{exp} – ожидаемая гетерозиготность.

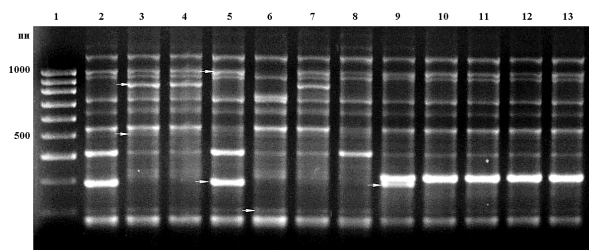


Рис. 1. RAPD-спектры геномной ДНК растений *A. thaliana* из популяций Радколье (2–8) и Климецкий (9–13), полученные с помощью праймера OPC-5: 1 – маркер молекулярной массы (100 пн – 1000 пн). Стрелками отмечены полиморфные фрагменты ДНК

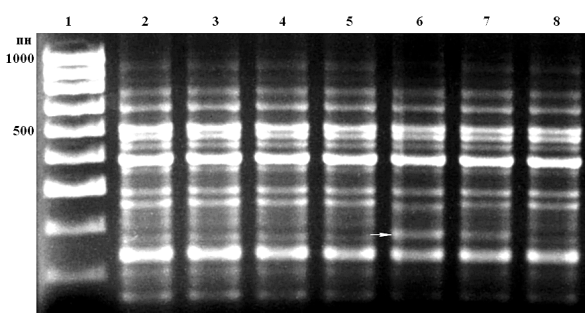


Рис. 2. RAPD-спектры геномной ДНК растений *A. thaliana* из популяции Медвежьегорск (2–8), полученные с помощью праймера № 8: 1 – маркер молекулярной массы (100 пн – 1000 пн). Стрелкой отмечены полиморфные фрагменты ДНК

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В целом была изучена вариабельность 121 RAPD-локуса двух островных и пяти континентальных популяций *A. thaliana*. На электрофореграммах спектров фрагментов ДНК отдельных растений выявлялись как мономорфные, общие для всех образцов, так и полиморфные фрагменты (рис. 1, 2). На основании частот фрагментов ДНК были вычислены основные показатели уровня генетического разнообразия в исследуемых популяциях – доля полиморфных локусов (P) при 95-процентном и 99-процентном критериях и ожидаемая гетерозиготность (H_{exp}) (табл. 1).

Проведенный анализ показал, что уровень генетического разнообразия природных популяций *A. thaliana*, расположенных на северной периферии ареала вида, оказался сопоставимым с установленным ранее с помощью аллозимного метода [7], то есть в 2–2,5 выше, чем в популяциях центральной части ареала [9]. Столь высокий популяционный полиморфизм нетипичен для самоопыляющихся видов растений (табл. 1). В связи с этим предполагается, что значительный уровень генетического разнообразия арабидопсиса в северной части его ареала может быть связан с жесткими экологическими условиями произрастания, в которых сильный естественный отбор может быстро менять свое направле-

ние [4], [16], [17]. Однако самая северная популяция арабидопсиса, находящаяся в районе Медвежьегорска, проявила значительно более низкий уровень изменчивости по доле полиморфных локусов ($P_{95\%} = 14,88\%$) и ожидаемой гетерозиготности ($H_{exp} = 0,063$) по сравнению со средними значениями этих параметров для популяций, расположенных почти на 200 км южнее. Тем не менее в группе этих популяций наблюдаются заметные колебания значений показателей уровня изменчивости (табл. 1). Значительное сокращение генетического разнообразия в некоторых из исследованных популяций, в том числе и в самой северной, может свидетельствовать о более сильном давлении отбора, который приводит к выживанию относительно немногих, наиболее приспособленных к жестким условиям среды генотипов.

Для характеристики генетических взаимоотношений исследованных популяций был использован кластерный анализ методом UPGMA (пакет программ PHYLIP) (рис. 3) на основе значений дистанций Нея (D_N) (табл. 2). Как видно из дендрограммы, популяция, произрастающая в окрестностях Медвежьегорска, существенно отличается от всех других ($0,226 < D_N > 0,287$). Она значительно обособлена и формирует отдельное плечо. Данное обстоятельство указывает на то, что самая северная популяция не только имеет пониженный уровень изменчивости, но и отличается своеобразием генетической структуры. Остальные популяции разделены на два подкластера. Один из них включает две континентальные популяции, которые в широтном градиенте наиболее близки к Медвежьегорску, – Кончезеро и Косалма. Во втором подкластере максимальное генетическое родство показали островные популяции Радколье и Климецкий ($D_N = 0,079$), группирующиеся вместе. Вероятно, особенности микроэволюционных процессов в островных популяциях (ослабление миграционного потока генов, усиление роли дрейфа генов) обусловили особенности их генетической структуры.

Таблица 2
Генетические расстояния (D_N)
между северными природными
популяциями *A. thaliana*

Популяция	Радколье	Климецкий	Царевичи	Шуйская	Косалма	Кончезеро	Медвежьегорск
Радколье	0						
Климецкий	0,079	0					
Царевичи	0,103	0,088	0				
Шуйская	0,109	0,111	0,098	0			
Косалма	0,105	0,118	0,128	0,159	0		
Кончезеро	0,131	0,118	0,128	0,121	0,109	0	
Медвежьегорск	0,226	0,244	0,245	0,260	0,244	0,287	0

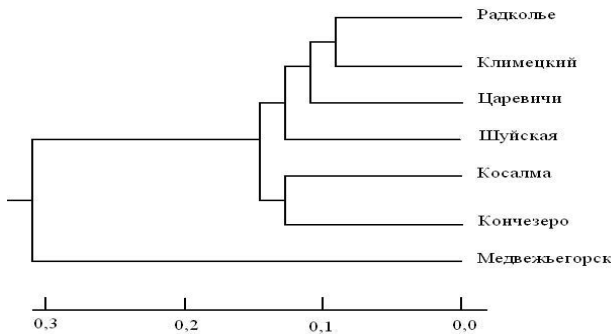


Рис. 3. Дендрограмма генетических различий северных популяций *A. thaliana*, построенная на основе генетических дистанций Нея

Следует отметить, что островная популяция Радколье показала очень высокий уровень генетического разнообразия, тогда как близкая по географической широте континентальная популяция Кончезеро – низкий (табл. 1). По-видимому, зафиксированные отличия связаны с природно-климатическими условиями произрастания растений этих популяций. В частности, остров Радколье характеризуется такими уникальными особенностями, как наличие скальных обнажений и шунгитовых пород [6], которые обуславливают своеобразие микроклиматических и почвенных

условий, а растительность представлена большим числом видов, включая редкие для Карелии [3].

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что в целом в северных природных популяциях *A. thaliana* выявлен значительный объем генетического разнообразия, не характерный для самоопылителей. Отмеченная неоднозначность в распределении величины генетического разнообразия не отрицает, как нам представляется, справедливость обеих гипотез, касающихся уровня полиморфизма периферических популяций. Очевидно, вопрос заключается в том, насколько условия произрастания конкретных популяций приближены к крайним условиям выживания вида. Полученные данные дополняют существующие представления относительно генетического разнообразия краевых природных популяций, расположенных на границах ареала вида, и позволяют по-новому рассматривать формальные противоречия, имеющиеся в результатах, полученных разными авторами и лежащих в основе двух, по сути, прямо противоположных точек зрения по этому принципиально важному вопросу.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы. ГК № 02.740.11.0700.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алтухов Ю. П. Генетические процессы в популяциях. М.: Академкнига, 2003. 431 с.
- Животовский Л. А. Статистические методы анализа частот генов в природных популяциях // Итоги науки и техники. Общая генетика. М.: ВИНТИ, 1983. Т. 8. С. 76–104.
- Кузнецов О. Л. Флора и растительность кижских шхер // Растительный мир Карелии и проблемы его охраны. Петрозаводск, 1993. С. 107–141.
- Левонтин Р. С. Генетические основы эволюции: Пер. с англ. М.: Мир, 1978. 338 с.
- Майр Э. Зоологический вид и эволюция: Пер. с англ. М.: Мир, 1968. 597 с.
- Соколов В. А. Карельские агрономические руды. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Финской ССР, 1956. С. 22–29.
- Федоренко О. М., Савушкин А. И., Олимпиаенко Г. С. Генетическое разнообразие природных популяций *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в Карелии // Генетика. 2001. Т. 37. № 2. С. 223–229.
- Хедрик Ф. Генетика популяций: Пер. с англ. М.: Техносфера, 2003. 592 с.
- Abbott R. J., Gomes M. F. Population genetic structure and outcrossing rate of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. // Heredity. 1989. Vol. 62. Part 3. P. 411–418.
- Carson H. L. The population genetics of *Drosophila robusta* // Advan. Genet. 1958. Vol. 9. P. 1–40.
- Dobzhansky Th. Genetics and the origin of species. 3rd ed., rev. Columbia. N. Y., 1951. 353 p.
- Hamrick J. L., Linhart I. B., Mitton J. B. Relationship between life history characteristic and electrophoretically detectable genetic variation in plants // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1979. Vol. 10. P. 173–200.
- Lewontin R. C. The adaptations of populations to varying environments // Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 1957. Vol. 22. P. 395–408.
- Möller E. M., Bahnweg G., Sandermann H., Geiger H. H. A simple and efficient protocol for isolation of high molecular weight DNA from filamentous fungi, fruit bodies, and infected plant tissues // Nucl. Acids Res. 1992. Vol. 20. № 22. P. 6115–6116.
- Nei M. Genetic distance between populations // Amer. Natur. 1972. Vol. 106. P. 283–292.
- Schwartz M. K., Mills L. S., Ortega Y. et al. Landscape location affects genetic variation of Canada lynx (*Lynx Canadensis*) // Molecular Ecology. 2003. Vol. 12. P. 1807–1816.
- Stenøien H. K., Fenster Ch. B., Tonteri A., Savolainen O. Genetic variability in natural populations of *Arabidopsis thaliana* in northern Europe // Molecular Ecology. 2005. Vol. 14. P. 137–148.
- Yeh F. C., Boyle T. J. B. Population genetic analysis of codominant and dominant markers and quantitative traits // Belgian J. Bot. 1997. Vol. 129. P. 157.

УДК 636.02 (638.162.2:638.17)

ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА ШАШУРИНА

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров технологического факультета, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
ShashurinaElena@mail.ru

ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ ДОРОНКИН

кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры технологии производства и переработки продукции растениеводства, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
yury.doronkin@yandex.ru

ЕКАТЕРИНА ИВАНОВНА ЛУПОВА

соискатель кафедры товароведения и экспертизы товаров технологического факультета, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
KatyaLupova@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИЙ И МИГРАЦИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ЦЕПИ ПОЧВА – ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА

При экологическом мониторинге территорий, загрязненных радионуклидами и тяжелыми металлами, в качестве аккумулятивных объектов пчел можно использовать медоносные растения, мед и другие продукты пчеловодства как реакционные системы – индикаторы миграции экотоксикантов. Эти элементы аккумулируются главным образом в тканях насекомого, в меньшей степени – в перге и меде. При проведении апимониторинга следует учитывать тип почв, глубину залегания экотоксиканта, породные особенности пчел, расположение продуктов пчеловодства в улье, особенности медоносного растения (однолетние, двулетние, многолетние, длина корневой системы, время цветения).

Ключевые слова: апимониторинг, медоносные растения, радионуклиды, тип почв

В связи с ухудшением экологической обстановки в Российской Федерации и в мире соответствующий контроль санитарного качества продуктов пчеловодства, сельскохозяйственных угодий и кормов, используемых для разведения медоносных пчел, является актуальной проблемой апимониторинга загрязнения окружающей среды.

В ряде регионов России техногенное воздействие на агропромышленное производство достигло таких масштабов, что его следует воспринимать как проблему глобального экологического кризиса. Как указывают многие исследователи, медоносные пчелы соответствуют критериям биоиндикаторов и в совокупности с продуктами своей жизнедеятельности являются уникальным объектом анализа динамики комплекса экологических характеристик состояния окружающей среды.

Вместе с тем процессы миграции радионуклидов в пчел, а также в продукты пчеловодства изучены не в достаточной степени. Возникают вопросы о ходе загрязняющих веществ по трофическим цепям из почвы через растения. Следует отметить несовершенство методик и технологий предупреждения и профилактики, ограничения миграции радионуклидов в мед и другие производные продукты пчеловодства. Это происходит из-за не-

достаточности оценки аккумуляции загрязняющих веществ в медоносных растениях, уровня компенсаторной адаптивности пчел к неблагоприятным экологическим факторам.

Проблема загрязнения экотоксикантами территории изучалась нами на примере Рязанской области, так как она является уникальной для экологического мониторинга по радионуклидам. Как известно, над частью районов Рязанской области выпали осадки после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году, что привело к заражению ряда территорий радионуклидами: цезием-137 и стронцием-90.

При исследовании пчел и меда в качестве аккумулятивных объектов, то есть как реакционных систем – индикаторов влияния экотоксикантов на расплод, выживаемость и адаптивность взрослых особей, производство меда и других продуктов пчеловодства, ученые отмечают, что в наибольшей степени эти элементы накапливаются в тканях насекомого, в меньшей степени – в перге и меде. Однако есть и противоположные суждения [1].

Нами была проанализирована радиационно-эпидемиологическая обстановка в Рязанской области за период с 1980 по 2008 год. Сравнивая динамику радиационного фона почв 30 контрольных участков, мы условно разделили тер-

риторию на 3 радиационно-эпидемиологические зоны и присвоили им следующие названия:

1-я зона (благополучная): уровень цезия-137 в почве практически не изменился после аварии на Чернобыльской АЭС и составил 7,6...8,9 Бк/кг;

2-я зона (условно благополучная): уровень цезия-137 после аварии, согласно нормам, достиг критической точки и составил 48,5...51,4 Бк/кг;

3-я зона (неблагополучная): уровень цезия-137 превысил норму и был равен 101,8...137,8 Бк/кг.

Динамика изменений радиационного фона на почвах 1-й зоны была следующей: в 1980 году цезия-137 было 3,6...4,5 Бк/кг, что в пределах естественного фона, а в 1987 году его уровень повысился в 2,0...2,5 раза и составил 7,5...9,0 Бк/кг. В 1995 году радиационная обстановка достигла максимального значения 30,0 Бк/кг. К 2008 году радиологический показатель цезия-137 в почве 1-й зоны – 20,0...35,9 Бк/кг (в зависимости от типа почв, где производили измерения). Так, в суглинистых почвах показатель выше, чем в супесчаных.

Радиологический показатель цезия-137 в почве 2-й зоны изменялся следующим образом. В 1980 году – 5,2...5,6 Бк/кг. В 1987 году уровень радиации составляет уже 48,5...51,4 Бк/кг, что превышает норму в 8,0...10,0 раз и позволяет занести данные районы в условно благополучную зону. В 1995 году уровень цезия-137 составляет 44,0...47,4 Бк/кг, то есть уровень радионуклида достигает критической точки после аварии на Чернобыльской АЭС. К 2008 году количество цезия-137 снижается до 38,0...44,8 Бк/кг, что по-прежнему выше минимального значения.

В почвах 3-й зоны мы наблюдаем следующую динамику. В 1980 году – 5,1...6,9 Бк/кг. В 1987 году количество радиоактивного цезия-137 составляет 101,8...137,8 Бк/кг, что превышает норму в 20 раз, поэтому территория автоматически определяется в неблагополучную зону. В 1995 году уровень загрязнения почвы цезием-137 – 71,4...92,7 Бк/кг: уровень радионуклида достигает максимального значения и превышает норму. В 2008 году цезия-137 в почвах 3-й зоны находится в количестве, равном 58,9...68,3 Бк/кг. Почвы этой зоны считаются наиболее опасными для сельскохозяйственных культур, животных и человека.

Выпавший на почву после аварии на Чернобыльской АЭС цезий-137 прочно удерживается в верхнем гумусированном слое. Со временем происходят его физико-химические превраще-

ния, осуществляется миграция по почвенному профилю, накопление растительностью. Для цезия характерно поглощение минеральной частью почв. Элемент внедряется в кристаллические решетки глинистых минералов, прочно связываясь там самой тонкодисперсной частью почвы. Цезий прочно связывается почвенной органикой, образуя, в частности, гуматы и фульваты. Подвижность металла увеличивают водорастворимые органические вещества, образующиеся при разложении растительности. При миграции цезия в глубь почвенного горизонта выделяют два типа массопереноса: быстрый (обусловленный передвижением металла вместе с тонкодисперсными частицами) и медленный (обусловленный передвижением водорастворимых форм). В суглинистых разностях дерново-подзолистых почв наблюдается только медленный перенос, в супесчаных и песчаных – и медленный, и быстрый с преобладанием последнего [2].

В зависимости от типа почвы и ее плодородия радионуклиды проникают в почву на разную глубину (до 20, 20...40 см и более). Следует указать, что корневая система многих медоносных растений располагается в слое почвы 20...40 см глубиной, где лежат корни таких культур, как рапс, клевер, люцерна, гречиха, а это основные медоносы цветочного меда. При этом миграция радионуклидов в растение и затем в продукцию пчеловодства находится в определенной зависимости не только от типа почв, но и от уровня их плодородия. Так, рядом ученых было установлено снижение уровня содержания цезия-137 в растениях и продукции пчеловодства при определенном увеличении его содержания на более плодородных почвах, что подтверждается нашими исследованиями [3], [4].

Аккумуляция радионуклидов в теле пчел в зависимости от рациона и типа почв представлена в табл. 1.

Исследования показали, что меньше всего радионуклиды аккумулируются в теле пчел при использовании в рационе однолетников в весенний и раннелетний периоды. При этом увеличение накопления цезия-137 в зависимости от использования двулетников и многолетников (в летний и летне-осенний периоды), а также плодородия почвы составили в первой зоне 24,8 и 37,1 %, во второй – 28,1 и 44,2 %, в третьей – 26,8 и 42,6 % соответственно.

Таблица 1

Динамика аккумуляции цезия-137 в теле пчел, обитающих в разных экологических условиях, в зависимости от медоноса и типа почв, Бк/кг

Зоны и преобладающие типы почв	Содержание гумуса, %	Медоносные растения		
		однолетники	двулетники	многолетники
1-я зона – благополучная (серая лесная легкосуглинистая, чернозем слабоподзоленный тяжелосуглинистый)	2,53...7,78	5,19 ± 0,259	6,48 ± 0,244	7,12 ± 0,201
2-я зона – условно благополучная (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	1,39...3,29	16,34 ± 0,344	17,76 ± 0,341	21,87 ± 0,504
3-я зона – неблагополучная (серая лесная средне- и легкосуглинистая)	1,79...4,75	22,43 ± 0,430	28,44 ± 0,516	31,98 ± 0,611

Таблица 2
Содержание радионуклида цезия-137
в продуктах пчеловодства
в зависимости от загрязнения почв
экотоксикантом, Бк/кг

Показатели	Условные экологические зоны		
	1	2	3
	Содержание цезия-137 в почве (среднее в слое – 0–40 см), Бк/кг		
	20,5...35,9	38,0...44,8	58,9...68,3
Цветочный мед	3,37 ± 0,117	3,78 ± 0,124	4,07 ± 0,146
Пыльца	8,31 ± 0,181	13,28 ± 0,273	17,76 ± 0,385
Перга	3,85 ± 0,116	5,87 ± 0,263	7,43 ± 0,269
Воск	3,98 ± 0,169	6,37 ± 0,242	8,89 ± 0,329
Прополис	3,55 ± 0,210	5,12 ± 0,223	6,18 ± 0,248

Разнообразие продуктов пчеловодства обусловлено спецификой их получения и переработкой организмом пчелы. Более тщательной переработке подвергается нектар, конечным продуктом которого является мед. Это обуславливает его высокую чистоту в отношении разного рода опасных и нежелательных компонентов, в том числе радионуклидов.

Содержание радионуклида в продуктах пчеловодства в зависимости от экологической чистоты района обитания приведено в табл. 2.

Полученные результаты показывают, что наименьшее содержание цезия-137 даже при его высоком уровне в почве из изученных продуктов

пчеловодства выявлено в меде. Так, увеличение радиационного фона почв по данному радионуклиду, составляющее в среднем 2,7 раза, то есть с 18,9...24,5 до 58,9...68,3 Бк/кг, обеспечивает рост данного элемента в меде лишь на 20,7 %. Наибольшей аккумулятивной способностью данного элемента обладает пыльца, в которой увеличение содержания цезия-137, при том же содержании его в почве, составило 213,7 %.

Концентрация цезия-137 в меде и продуктах пчеловодства, которая не приводит к отклонениям в здоровье человека при их употреблении (предельно допустимый уровень), установлена СанПиН 2.3.2.1078-01 и составляет 100,0 Бк/кг. Однако способность цезия-137 к аккумуляции в организме создает необходимость всестороннего изучения пищевой безопасности продукции пчеловодства, полученной в условиях территорий с разной загрязненностью экотоксикантами, а также разработки рекомендаций по ее переработке и потреблению.

Таким образом, пчелы и продукты их жизнедеятельности действительно являются маркерами при экологическом мониторинге территорий. Однако в производстве данной продукции следует учитывать тип почвы, от которого зависит концентрация радионуклида по горизонтам, степень ее плодородия, обуславливающую подвижность элемента и его накопление в растениях, и как итог – наличие радионуклида в продукции пчеловодства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гробов О. Ф. Пчелы – индикаторы окружающей среды // Пчеловодство. 1989. № 12. С. 2–5.
2. Ефремов И. В., Рахимова Н. Н., Янчук Е. Л. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва – растение // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. № 12/8. С. 49–54.
3. Лебедев В. И., Мурашова Е. А. Производство экологически чистых продуктов пчеловодства // Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. «Пчеловодство: XXI век». М., 2003. С. 112–117.
4. Пристер Б. С., Перепелятникова Л. В., Омельяненко Н. П. Вертикальное распределение радионуклидов в почвах и переход их в растение в зоне аварии на ЧАЭС // Проблемы с/х радиологии. Киев: УкрНИИСХР, 1992. С. 95–101.

УДК 551.468.1(268.46)

ТАТЬЯНА СТАНИСЛАВОВНА ШЕЛЕХОВА

кандидат географических наук, доцент кафедры геологии и геофизики горно-геологического факультета, Петрозаводский государственный университет, старший научный сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН

*shelekh@krc.karelia.ru***НАДЕЖДА БОРИСОВНА ЛАВРОВА**

кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН

*lavrova@krc.karelia.ru***НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИГРАЦИИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ БЕЛОГО МОРЯ**

В статье приводятся результаты комплексного исследования отложений позднего голоцена, расположенных в низовье р. Выг. Проведена реконструкция палеогеографических условий накопления осадков. Применение комплекса палеонтологических методов, радиоуглеродного датирования позволило проследить изменение уровня Белого моря в зависимости от палеогеографической обстановки. Уточнена динамика окружающей растительности на фоне палеогидрологического режима территории. Установлено начало регрессивной стадии морского бассейна и выхода суббореальной террасы из зоны затопления.

Ключевые слова: диатомовый анализ, палинологический анализ, спорово-пыльцевой комплекс, Белое море

Исследованная территория расположена в низовье р. Выг, где находятся древние памятники наскальных искусств Залавруги (рис. 1). Изучению колебаний уровня Белого моря в поздне- и послеледниковье, а также палеогеографическим реконструкциям голоцена Юго-Западного Беломорья, особенно в связи с древними поселениями человека, посвящены многочисленные публикации [1], [8], [9], [12], [15], [16], [19] и др. Среди них отметим работу Э. И. Девятовой, в которой на основании геолого-геоморфологических условий в низовье р. Выг, результатов спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализа представлены новые данные о трансгрессивно-регрессивных стадиях в развитии Белого моря, прослежена динамика в развитии древних поселений [3]. В этой работе Э. И. Девятова отмечала неправомерность определения хронологической последовательности стоянок по их высотному положению относительно уровня водоема без учета всех остальных особенностей формирования поверхности. По ее мнению, уточнению палеогеографической обстановки могут способствовать палеонтологические анализы торфяных отложений, расположенных на всех ступенях террас [3]. Нами были исследованы торфяные отложения болота, находящегося на абсолютной отметке 16,8 м, при этом использовался сопряженный комплекс методов (диатомовый, палинологический, радиоуглеродный), позволивший получить достаточно полную и достоверную информацию о динамике и хронологии климата и растительности, колебаниях уровня Белого моря, изменении его береговой линии, предопределивших заселение территории и существование поселений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В 500 м к западу от Старой Залавруги (N 64°29'50", E 34°40'6,5") пробурена скважина мощностью 50 см, на забое которой тонкозернистые пески тонким слоем прикрывают кристаллические породы. В разрезе выделены 5 горизонтов, из которых послойно отобраны 7 образцов на спорово-пыльцевой и диатомовый анализы. С глубины 40–45 см взят образец на радиоуглеродный анализ. Разрез представлен следующими отложениями (сверху вниз): 0–20 см – торф, 20–36 см – торфянистый сапропель, 36–39 см – слой органики (вероятно, с углистыми частицами), 39–45 см – сапропель, 45–50 см – песок тонкозернистый (рис. 2, 3).

Спорово-пыльцевой анализ выполнен по 7 образцам, отобраным через 5–10 см. При подготовке образцов применялась общепринятая методика [17]; при определении пыльцы и спор использовались справочники-определители [10], [11] и др., а также эталонная коллекция пыльцы и спор Института геологии КарНЦ РАН. Обработка материала, построение диаграммы процентного содержания пыльцы и спор проводилась при помощи программ TILIA, TILIA-GRAPH [25] и TG-View 2.0.2. На основании изменений в составе спорово-пыльцевых спектров выделены палинологические зоны (ПЗ), для более объективного зонирования диаграммы использовалась программа CONISS. Периодизация диаграммы и установление относительного возраста отложений на основании палинологического анализа подтверждаются данными радиоуглеродного датирования.

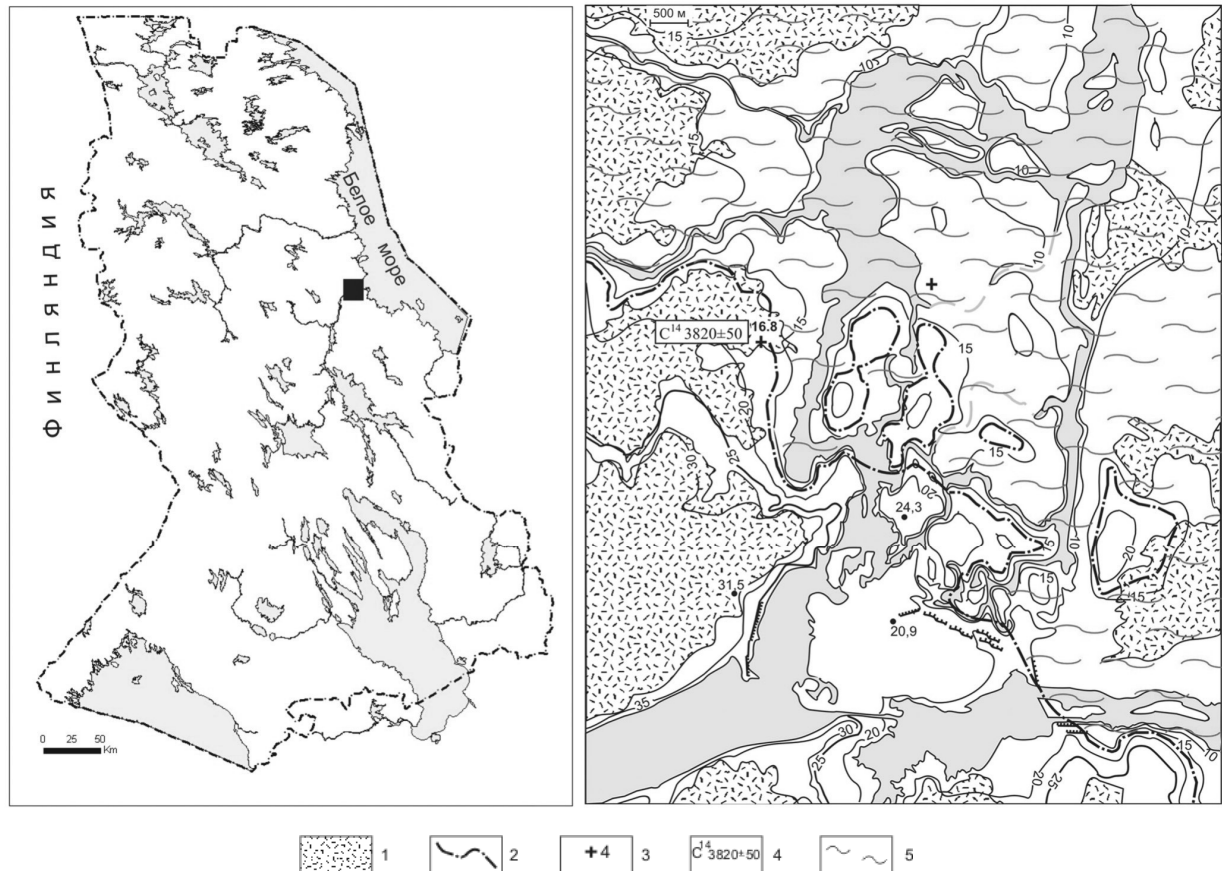


Рис. 1. Месторасположение изученных разрезов и береговая линия моря в суббореальное время: 1 – болота; 2 – береговая линия в суббореале; 3 – расположение разрезов; 4 – радиоуглеродная датировка; 5 – территория, занятая морем в суббореале

Техническая обработка проб и приготовление постоянных препаратов на диатомовый анализ выполнялись по общепринятой методике [2], [4]. При идентификации флоры использовалась справочная литература [26], [28] и др. Всего исследованы 7 образцов послойно без пропусков с разными интервалами. Результаты исследований представлены на диатомовой диаграмме (рис. 2).

По составу ископаемой диатомовой флоры выполнены реконструкции теоретических значений рН-среды (по [27]). С использованием полученных результатов проводился подсчет видов (в %) по отношению к географическому распространению: арктоальпийских, бореальных и космополитов. Все эколого-географические характеристики приведены на рис. 3.

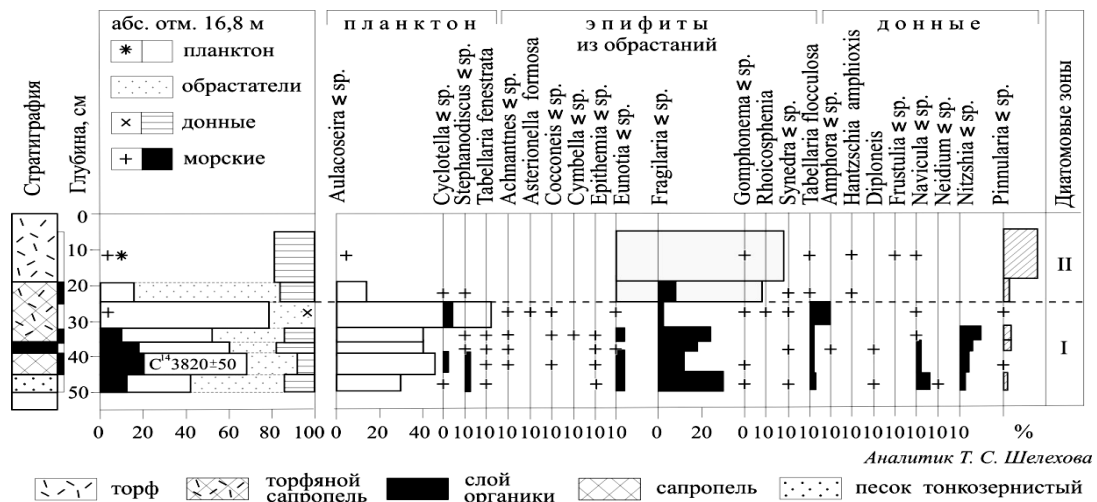


Рис. 2. Диатомовая диаграмма отложений разреза Залавруга-6

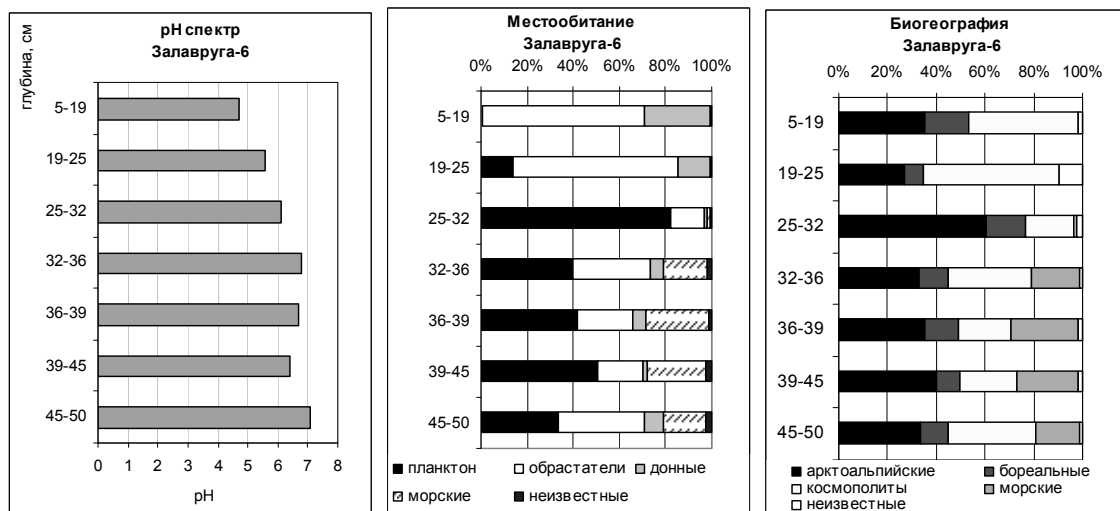


Рис. 3. Эколого-географическая характеристика и pH-спектр разреза Залавруга-6

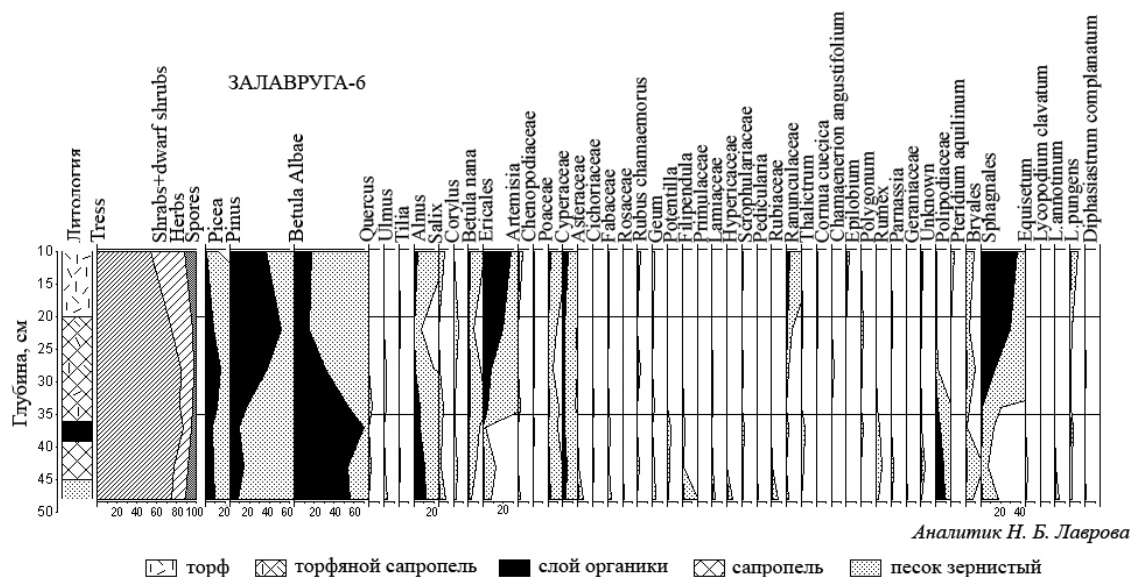


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза Залавруга-6

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Диатомовый анализ

В отложениях обнаружен довольно богатый комплекс пресноводной диатомовой флоры, состоящий из 85 видов и разновидностей пресноводных диатомей (табл. 1), а с глубины от 50 до 32 см встречаются многочисленные обломки морских и солоноватоводных видов, отмеченных ранее [24] в разрезе Залавруга-4. Их доля в общем составе флоры составляет 10–20 %, причем наибольшие значения характерны для глубины 35–45 см. Морские и солоноватоводные виды представлены 24 таксонами, список которых приводится в табл. 2.

По составу диатомовых комплексов можно выделить два этапа развития диатомовой флоры:

первый – глубина 50–32 см, второй – 32–0 см. На первом этапе формирование флоры происходило в условиях притока морских вод, на втором – диатомовый комплекс развивался исключительно в пресноводной среде.

Первый этап – глубина 50–32 см. В нем можно выделить время накопления песков, когда пресноводный комплекс пополнялся морскими формами, и период отложения сапропелей с торфом и органикой, во время которого отмечается максимальное участие морских диатомей. Пресноводная флора представлена планктонными формами родов *Aulacoseira*, *Stephanodiscus*, единичными *Cyclotella*, *Tabellaria fenestrata*, эпифитами *Tabellaria flocculosa*, *Fragilaria* sp., *Eunotia* sp. и донными *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Pinnularia* sp. Их

содержание достигает 80 % (рис. 2). Среди них преобладают арктоальпийские виды (30–40 %) и космополиты (20–30 %). Среда близка к нейтральной (рН около 7) (рис. 3). Солоноватоводно-морской комплекс состоит из 24 таксонов (табл. 2), в нем доминирует *Paralia sulcata* + *P. sulcata* var. *crenulata* – вид, обитающий в мелководной литоральной зоне моря. Выше по разрезу, когда пески сменяются сапропелями, в солоноватоводно-морской флоре присутствуют типичные бентосные формы из рода *Nitzschia*, явно указывая на снижение уровня моря до глубины не более 0,5 м. Все остальные солоноватоводно-морские формы встречаются в данной части разреза единично. Вероятно, накопление песков происходило во время регрессии моря и периодического поступления морских вод в залив в результате приливно-отливной деятельности, а сапропелей с торфом и органикой – в период полного отделения данной территории от моря в виде мелкой замкнутой котловины с остаточной морской водой и постепенного опреснения. Последние результаты исследования переходных зон от морских условий к пресноводным в донных отложениях озер Прибеломорской низменности, расположенных на разных абсолютных отметках, указывают, что наличие около 20 % солоноватоводно-морских видов, как в нашем случае, свидетельствует о регрессивной фазе моря [21], [22], [23]. Отложение торфяного сапропеля (глубиной 32–35 см), по данным радиоуглеродной датировки (C^{14}), происходило 3820 ± 50 лет назад (Jе8360). Максимальное содержание в данном интервале пресноводных из родов *Fragilaria* sp., *Eunotia* sp. может свидетельствовать об очень небольшой глубине бассейна и начальных стадиях заболачивания. Следовательно, во время регрессии моря около 3820 ± 50 лет назад (C^{14}) скалы Залавруги с абсолютной отметкой 16,5 м не были покрыты водой и были созданы благоприятные условия для существования поселений.

Второй этап – глубина 32–0 см. Накапливается торфянистый сапропель, резко сменяющийся торфом. Состав флоры полностью пресноводный с единичными случайными обломками створок морских видов, что свидетельствует о прекращении притока морских вод, резком падении уровня воды и начале торфонакопления. Пресноводный диатомовый комплекс представлен типично болотными формами-обрастателями и донными из родов *Eunotia* (70–80 % флоры) и *Pinnularia* (16 %), а также единичными *Tabelaria flocculosa*, *Hantzschia* sp., *Frustulia* sp., *Navicula* sp. Нейтральная среда воды резко сменилась на кислую (рН снизилась с 6,9 до 5). Повысилось до 50 % содержание видов-космополитов, что наблюдается при некотором потеплении климата. Примечательно присутствие *Hantzschia amphioxys*. Обычно этот вид обнаруживается в золе кострищ, на мусорных местах, поэтому можно предполагать близость расположения стоянок человека и возможность пожаров.

Спорово-пыльцевой анализ

Спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 4) характеризуется преобладанием пыльцы древесных пород на всем протяжении исследованного слоя, но при этом нельзя не отметить разнообразие травянистых. Помимо пыльцы *Poaceae*, *Cyperaceae*, присутствует пыльца *Asteraceae*, *Cichoriaceae*, *Fabaceae*, *Primulaceae*, *Lamiaceae*, *Hypericaceae*, *Scrophulariaceae*, *Pedicularis*, *Rubiaceae* (*Galium*), *Ranunculaceae*, *Thalictrum*, *Cornus suecica*, *Chamaenerion angustifolium*, *Epilobium* sp., *Polygonum* sp., *Rumex*, *Parnassia*, *Geraniaceae*, *Rosaceae* (в последнем встречается пыльца как определенная лишь до уровня семейства, так и принадлежащая следующим видам и родам: *Rubus chamaemorus*, *Geum rivale*, *Filipendula ulmaria*, *Potentilla*). В количественном отношении доля этой пыльцы невелика, лишь *Filipendula* в нижней части диаграммы едва достигает 1 %, а *Ranunculus* в ее верхней части – 5 %. Отмечены единичные пыльцевые зерна древесных неморальных видов: *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*. Пыльца этих пород, по всей вероятности, синхронна времени накопления осадков, но, принимая во внимание ее ничтожную долю в отложениях, можно предположить, что граница их распространения располагалась на некотором расстоянии от изучаемой территории [14]. Наряду с пыльцой термофильных пород встречена пыльца гипоарктических видов (*Betula nana*, *Rubus chamaemorus*, *Lycopodium pungens*), которые, по всей вероятности, были приурочены к болотам и прибрежным местообитаниям. Анализ полученных данных позволяет выделить 3 пыльцевые зоны (ПЗ), отражающие определенные этапы в развитии растительности.

Первая пыльцевая зона (ПЗ 1, глубина 50–36 см) выделена в сапропеле, под которым залегает тонкий слой песка. Песок в незначительных количествах встречается во всем слое сапропеля, темно-коричневый цвет которого вверх по разрезу сменяется черным (36–39 см). Черный цвет, по всей вероятности, указывает на присутствие углистых частиц. Эти отложения, в соответствии с данными радиоуглеродного анализа (Jе 8360, 3800 ± 50 лет назад), формировались во второй трети суббореального периода, климатические параметры этого времени несколько превышали современные [6]. ПЗ 1 характеризуется преобладанием пыльцы древесных пород, главным образом *Betula* sect. *Albae*, достигающей своего максимума (60 %) в отложениях черного сапропеля. В пределах 10–15 % варьируют кривые пыльцы *Pinus* и *Picea*, почти такие же значения имеет пыльца *Alnus*. Отмечены единичные пыльцевые зерна термофильных пород (*Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*). Постоянно встречается пыльца *Corylus*. Среди травянистых лидируют *Cyperaceae* и *Poaceae*, в разнотравье первые позиции занимают *Filipendula ulmaria*, *Rubiaceae* (*Galium*), *Hypericaceae*, *Geum rivale*, *Ranunculaceae*, *Thalictrum*, среди споровых – *Polypodiaceae*. Обычны споры

Equisetum, *Lycopodium annotinum*, *L. pungens*, *Diphasiastrum complanatum*. Таким образом, вышеприведенные данные позволяют предположить, что на изучаемой территории преобладали березовые с примесью лещины и ольхи крупнотравные леса. Пыльца термофильных пород *Tilia*, *Quercus*, *Ulmus*, по всей вероятности, была заносной (см. выше). Максимального развития березняки достигли около 3800 лет назад. Принимая во внимание пыльцевую продуктивность ели и сосны, вполне вероятно предположение, что в благоприятных местообитаниях встречались небольшие участки ельников. Участие сосны в древостое, напротив, представляется весьма незначительным. Это обусловлено достаточно высоким уровнем моря, что следует из результатов диатомового анализа. Следовательно, уровень грунтовых вод был довольно высоким. Ольховые сообщества с влаголюбивым разнотравьем приурочены к наиболее переувлажненным, прибрежным участкам, которые постепенно зарастали болотной и прибрежно-водной растительностью (*Rubus chamaemorus*, *Parnassia*, *Cyperaceae*, *Equisetum* и др.). Такие виды, как *Filipendula ulmaria*, *Geum rivale*, тяготеют к сырým берегам, заболоченным лугам. В подобных местообитаниях могут встречаться виды *Rumex*, *Ranunculaceae*, *Geraniaceae*, *Potentilla*; некоторые виды этих родов и семейств предпочитают морские побережья, расселяясь на лугах так называемого третьего уровня, испытывающих незначительное влияние морской воды [7], [18]. Отметим, что в этих отложениях определена пыльца семейства *Asteraceae*, принадлежащего типу *Aster*. Ранее, изучая морские и переходные от морских к озерным отложения, мы сделали предположение, что пыльца этого типа продуцируется астрой солончаковой – облигатным галофитом, расселяющимся на регулярно затопляемых морской водой местообитаниях [13]. Учитывая данные диатомового анализа, указывающего на присутствие морских диатомей, то есть на формирование отложений в морских условиях, предположим, что и здесь могли произрастать облигатные и факультативные галофиты, а также гликофиты из семейств *Ranunculaceae*, *Fabaceae*, родов *Rumex*, *Potentilla*. Обращает на себя внимание и отсутствие пыльцы макрофитов. Скорее всего, в спорово-пыльцевых спектрах нашла отражение локальная растительность зоны контакта между галофитами и растениями незасоленных почв, указывая на близость береговой линии моря. Разнообразие растительности, мягкие климатические условия, близость водоема делали рассматриваемую территорию благоприятной для создания поселений.

Состав спорово-пыльцевых спектров, слагающий вторую пыльцевую зону (ПЗ 2, глубина 34–20 см), претерпевает значительные изменения, а во вмещающих их отложениях – сапропеле – увеличивается примесь растительных остатков, и он постепенно приобретает вид торфя-

нистого сапропеля. Отметим, что количество пыльцы *Betula Albae* уменьшается с 70 до 15 %, *Alnus* – до 1–5 %, *Pinus*, напротив, возрастает с 10 до 50 %. Во-вторых, значения *Ericales* и *Sphagnales* увеличиваются с 1–20 до 30 % соответственно. В чем причина столь резких изменений? На глубине 0,36–0,39 м залегает слой органики черного цвета, по всей вероятности, с углистыми частицами. Можем ли мы говорить о постпирогенных сукцессиях? Ведь при лесных пожарах обычно в большей степени страдают хвойные породы, береза же как порода-пионер первая начинает занимать гари. В нашем случае картина иная. Возможно, перераспределение процентного соотношения пыльцы в пользу сосны связано с регрессией моря, что подтверждается и данными диатомового анализа (см. выше). Регрессия повлекла за собой понижение уровня грунтовых вод и как следствие – зарастание водоема, на что указывает состав осадков и направленное нарастание кривой пыльцы *Sphagnales*. Этот же фактор способствовал широкому распространению кустарничковых сосняков. Но некоторые верескоцветные кустарнички произрастали также на заболоченных берегах водоема. Интересно отметить, что в составе растительного покрова постепенно возрастает участие ельников, которые тем не менее не занимают ведущего положения, каковое отмечалось в суббореале практически для всей территории Карелии [6]. Вероятно, это было обусловлено локальными почвенно-эдафическими и гидрологическими условиями изучаемой территории.

В то же время представляется весьма возможным, что осушение территории могло способствовать возникновению лесных пожаров, о чем свидетельствуют находки пыльцы *Chamaenerion angustifolium*, *Calluna vulgaris*, углистых частиц и диатомовых водорослей *Hantzschia amphioxys*, встречающихся в золе кострищ.

Непрерывно следует отметить также и то, что в спорово-пыльцевых спектрах ПЗ 1 и ПЗ 2 не встречена пыльца гидрофитов. Возможно, это обусловлено слабо повышенной соленостью воды. В подтверждение этому в отложениях, соответствующих ПЗ 1 и ПЗ 2, обнаружены единичные створки морских диатомей. Данные палинологического и радиоуглеродного анализа позволяют предположить, что спорово-пыльцевые спектры ПЗ 2 сформировались в последней трети суббореального – начале субатлантического периода.

Основные отличия спорово-пыльцевых спектров третьей палинозоны (ПЗ 3, глубина 20–10 см), выделенной в слое торфа, заключаются в следующем: невысокое, но стабильное содержание пыльцы березы (15–17 %), значительная роль пыльцы верескоцветных кустарничков (до 30 %) и спор сфагновых мхов (40 %). По-прежнему представительно участие пыльцы сосны (30–40 %), появляется непрерывная кривая *Pteridium aquilinum*. В спорово-пыльцевых спектрах уже не встречается пыльца широколиственных

пород. На основании вышеперечисленных данных можно сделать вывод, что в период накопления слоя торфа в районе исследования главенствующее положение занимали сосновые, сосново-березовые леса с участием орляка обыкновенного, предпочитающего, как правило, светлые смешанные и сосновые леса, иногда гари. Участие ели в составе древесной растительности незначительно, что, вероятно, обусловлено активной заболачиваемостью юго-западного Беломорья [5]. На месте водоема образовалось болото, на котором доминировали сфагновые мхи и ерикоидные кустарнички. Переход водоема в тельматическую стадию развития делал территорию вокруг него неудобной для расселения человека, стоянки перемещались на более молодые террасы, ближе к урезу воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поверхность Прибеломорской равнины окончательно сформировалась в процессе неоднократных трансгрессивно-регрессивных стадий Белого моря в поздне- и послеледниковое время.

Колебания уровня моря наряду с изменением климата и растительности имели определяющее значение в размещении стоянок человека и создании памятников наскальных искусств.

Совокупность методов исследования с наибольшей долей достоверности позволяет сделать вывод о том, что около 3820 (C¹⁴) лет назад уровень воды в низовье р. Выг снизился и терраса на абсолютной отметке 16,5 м в это время не была покрыта водой. По мнению Э. И. Девятовой, начало регрессии и выход суббореальной террасы из зоны затопления произошли около 3600 (C¹⁴) лет назад, подтверждением чему служит возобновление старицы в районе пос. Золотец около 3500 (C¹⁴) лет назад [3]. Наши исследования показывают, что это произошло несколько ранее – около 3800 (C¹⁴) лет назад. Применение комплекса методов при изучении торфяной залежи позволило уточнить время этого события. Благоприятный климат и разнообразная растительность обеспечивали приток населения, и именно в это время могли появиться археологические памятники, расположенные на указанных абсолютных отметках.

Таблица 1

Систематический список пресноводных
диатомовых водорослей разреза Залавруга-6

№ п/п	Наименование вида			Местообитание	Биогеография	Галобность	Отношение к pH	Глубина, см						
								5–19	19–25	25–32	32–36	36–39	39–45	45–50
1	Achnanthes	oestrupii	Cl.) Hust.	o	a	ind	ind				1			
2	Achnanthes	lanceolata	var. rostrata (Östrup) Hust.	o	k	ind	ind						1	
3	Achnanthes	calcar	Cl.	o	a	ind	alkf			1				
4	Achnanthes	kriophila	Petersen	o	a	hb	ind			1				
5	Achnanthes	minutissima	Kütz.	o	a	ind	ind			1				
6	Amphora	ovalis	Kütz.	b	k	ind	alk							
7	Asterionella	formosa	Hass.	p	k	ind	alkf			2				
8	Aulacoseira	distans	var. distans (Ehrenberg) Sim.	p	a	ind	acf	1		65	24	14	24	12
9	Aulacoseira	granulata	(Ehrenberg) Ralfs	p	k	ind	alkf			1	9	13	13	7
10	Aulacoseira	granulata	var. angustissima (O. Müll) Hust.	p	k	ind	alkf		1					
11	Aulacoseira	islandica	(O. Müll)	p	a	ind	ind		9	48			13	10
12	Aulacoseira	islandica	ssp. helvetica (O. Müll)	p	a	ind	ind			30	49	62	52	32
13	Aulacoseira	italica	(Ehrenberg) Sim.	p	k	ind	alkf			38	17	12	13	14
14	Aulacoseira	sp.		p				1	6					
15	Cocconeis	placentula	(Ehrenberg)	o	b	ind	alkf			1	1		1	
16	Cyclotella	compta	(Ehrenberg) Kütz.	p	k	ind	alkf		1	5			5	2
17	Cyclotella	stelligera	Cl. et Grün.	p	k	ind	ind						1	
18	Cyclotella	kuetzingiana	Thwait.	p	b	hl	ind			4				
19	Cyclotella	kuetzingiana	var. radiosa Fricke	p	b	hl	ind			1				1
20	Cyclotella	kuetzingiana	var. schumanii Grün.	p	b	hl	ind			1				
21	Cymbella	cistula	(Hemp.) Grün.	o	b	ind	alkf				1			
22	Diploneis	elliptica	Kütz. Cl.	b	k	ind	alkf							3
23	Epithemia	zebra	var. saxonica (Kütz.) (Ehrenberg)	o	k	ind	alkf				4	2	2	3
24	Eunotia	clevei	Grün.	o	a	ind	acf							1
25	Eunotia	diodon	(Ehrenberg)	o	a	hb	acf			1				

№ п/п	Наименование вида			Местообитание	Биогеография	Галобность	Отношение к pH	Глубина, см						
								5-19	19-25	25-32	32-36	36-39	39-45	45-50
26	Eunotia	fallax	Cl.	o	k	hb	acf	107	53	3	2			
27	Eunotia	lunaris	(Kütz.) Grün.	o	k	hb	acf	1	7		2		2	1
28	Eunotia	microcephala	Krasske	o	b	hb	acf	2						
29	Eunotia	monodon	var. maior (W. Sm.)	o	k	hb	acf						1	
30	Eunotia	pectinalis	(Dillw.) Grün.	o	k	hb	acf				2		2	2
31	Eunotia	pectinalis	var. bidens	o	k	hb	acf					2		
32	Eunotia	pectinalis	var. minor (Kütz.) Grün.	o	k	hb	acf	2						1
33	Eunotia	praerupta	(Ehrenberg)	o	b	hb	acf				1			1
34	Eunotia	praerupta	var. bidens (W. Sm.) Grün.	o	a	hb	acf						1	
35	Eunotia	sp.		o					1		1			
36	Eunotia	tenella	(Grün.) Hust.	o	a	hb	acf	85	15		2	1		1
37	Eunotia	veneris	(Kütz.) O. Müll	o	b	ind	acf					1	3	3
38	Fragilaria	brevistriata	Grün.	o	k	ind	alkf		1	1	43	21	15	38
39	Fragilaria	construens	(Ehrenberg) Grün.	o	k	ind	alkf						1	1
40	Fragilaria	construens	var. binodis (Ehrenberg) Grün.	o	k	ind	alkf							1
41	Fragilaria	construens	var. venter (Ehrenberg) Grün.	o	k	ind	alkf		4		3	3	2	7
42	Fragilaria	lapponica	Grün.	o	a	ind	ind						1	2
43	Fragilaria	leptostauron	var. dubia Grün.	o	b	hb	alkf					3		1
44	Fragilaria	pinnata	Ehrenberg	o	b	hl	alkf				15	13	4	3
45	Fragilaria	pinnata	var. lancetula (Schum.) Hust.	o	b	hl	alkf					4		5
46	Fragilaria	virescense	Ralfs	o	a	ind	ind		3	2		1	9	20
47	Fragilaria	sp.		o						2				
48	Frustulia	sp.		b			acf	1						
49	Gomphonema	acuminatum	var. coronatum (Ehrenberg) W. Sm.	o	b	ind	ind							1
50	Gomphonema	bohemicum	Reich.	o	b	ind	ind	1		1				1
51	Gomphonema	lanceolatum	Ehrenberg	o	b	ind	alkf						1	
52	Gomphonema	parvulum	(Kütz.) Grün.	o	b	ind	ind			2				
53	Hantzschia	amphioxys	(Ehrenberg) Grün.	b	k	ind	alkf	2	1					
54	Navicula	subtilissima	Cl.	b	k	hb	acf	1						
55	Navicula	lanceolata	(Ag.) Kütz.	b	k	ind	alkb				3			9
56	Navicula	reinhardii	(Grün.) Cl.	b	b	ind	alkb					1		
57	Navicula	pupula	var. rectangularis (Greg.) Grün.	b	k	hl	ind						2	2
58	Navicula	radiosa	Kütz.	b	b	hl	alkf							1
59	Neidium	affine	var. longiceps (Greg.) Cl.	b	a	ind	acf							1
60	Nitzschia	sp.		b										
61	Opephora	martyi	Herib.	o	b	ind	alkf						1	
62	Pinnularia	borealis	Ehrenberg	b	a	ind	ind	1	2	1		2		1
63	Pinnularia	braunii	var. amphicephala (A. Mayer) Kütz.	b	b	hb	ind							1
64	Pinnularia	distinquenda	Cl.	b	k	hl	alkf							2
65	Pinnularia	globiceps	var. krokei Grün.	b	k	ind								1
66	Pinnularia	intermedia	Lagerst.	b	a		alkf							1
67	Pinnularia	interrupta	W. Sm.	b	k	ind	acf							
68	Pinnularia	interrupta	var. minutissima Hust.	b	k	ind		39	6					
69	Pinnularia	islandica	Östrup	b	a			2	4	1	7	8		
70	Pinnularia	leptosomoides	Cl.-Euler	b	k	hb	ind							
71	Pinnularia	microstauron	(Ehrenberg) Cl.	b	k	ind	ind				1			
72	Pinnularia	microstauron	var. brebissonii (Kütz.) Hust.	b	b	ind						1		
73	Pinnularia	nodosa	(Ehrenberg)	b	a	hb	i					1		
74	Pinnularia	sp.		b					3	1	2		1	
75	Pinnularia	subcapitata	Greg.	b	b	hb	ind-acf		1					
76	Pinnularia	viridis	(Nitzsch.) Ehrenberg	b	b	hb	acf						2	

№ п/п	Наименование вида			Местообитание	Биогеография	Галобность	Отношение к pH	Глубина, см						
								5-19	19-25	25-32	32-36	36-39	39-45	45-50
77	Pinnularia	viridis	var. intermedia Cl.	b	k	ind	ind					1		
78	Stephanodiscus	astraea	(Ehrenberg) Grün.	p	b	ind	ind			2	2	2	5	5
79	Stephanodiscus	astraea	var. intermedia Fricke	p	b	ind	ind		1		2			
80	Stephanodiscus	sp.		p								3		
81	Synedra	ulna	(Nitzsch.) Ehrenberg	o	k	ind	alkf					1		
82	Synedra	nana	Meist.	o	a					1			1	1
83	Synedra	sp.		o					1					
84	Tabellaria	flocculosa	(Roth.) Kütz.	o	b	hb	acf	2	3	28	6	8		
85	Tabellaria	fenestrata	(Lyngb.) Kütz.	p	b	hb	acf			2	1	1	6	8
	Epidathia	muellery	desmidiaceae									1		
	неопределенные												1	1
	Итого							250	123	250	250	251	250	255

Примечание. Местообитание: p – планктон; b – бентосные; o – обрастатели; биогеография: a – арктобореальные, b – бореальные, k – космополиты; галобность: hl – галофилы, hb – галофобы, ind – индифференты; отношение к pH: alkf – алкалофилы, acf – ацидофилы, ind – индифференты.

Таблица 2

Список морских диатомовых водорослей разреза Залавруга-6

№ п/п	Название вида			м	б	г	pH	Глубина, см						
								5-19	19-25	25-32	32-36	36-39	39-45	45-50
1	Achnanthes	brevipes	Ag.	pb	k	mz						3	1	
2	Achnanthes	hauskiana	Grun.	b	k	mz						1		
3	Cocconeis	scutellum	Ehr.	b	k	mz						1	3	2
4	Diploneis	interrupta	(Kütz.) Cl.	b		mz	alkf				1			
5	Diploneis	smithi	(Breb.) Cl.	b	k	mz	alkf					1		1
6	Grammatophora	oceanica	(Ehr.) Grun.	b	k	pg						1	1	
7	Grammatophora	marina	(Lyngb.) Kütz.	b	k	pg							2	
8	Hyalodiscus	scoticus	(Kütz.) Grun.	tp	b	mz						1		1
9	Navicula	humerosa	Breb.	b	k	mz							4	1
10	Navicula	hungarica	Grun.	b								1		
11	Navicula	mutica	Kütz.	b	k	hl	alkf	1				2		
12	Navicula	mutica	var. cohi (Hilse) Grun.	b	k	hl	alkf							2
13	Navicula	pusilla	W. Smith	b	bor	hl						3		3
14	Nitzschia	obtusa	(W. Smith.)	b							1	13	10	8
15	Nitzschia	punctata	(W. Smith) Grun.	b	bor	mz					1			
16	Nitzschia	spp.		b							21	2		
17	Nitzschia	intermedia	Hantz.	b									1	
18	Odontella	aurita	(Lyngb.) Agardh.	tp	k	pg								
19	Paralia	sulcata	(Ehr.) Cl.	p		mz								
20	Paralia	sulcata	var. crenulata Grun.	p						2	22	35	37	22
21	Rhabdonema	arcuatum	(Lyngb.) Kütz.	b	k	mz						5		
22	Rhabdonema	minutum	Kütz.	b	k	mz							1	1
23	Rhoicosphaenia	curvata	(Kütz.) Grun.							1				
24	неопределенные							1						

Примечание. М – местообитание: pb – полубентосные; b – бентосные (донные и эпифиты); tp – тихопелагические; б – биогеография: k – космополиты; bor – бореальные; г – галобность: pg – полигалобные; mz – мезогалобные; hl – галофилы; отношение к pH: alkf – алкалофилы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горецкий Г. И. Неолитические стоянки в районе г. Кеми // Краткие сообщения о докладах и полевых исследованиях Института истории материальной культуры. Вып. IX. М., 1941.
2. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
3. Девятова Э. И. Геология и палинология голоцена и хронология памятников первобытной эпохи в Юго-Западном Беломорье. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. 121 с.
4. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Л.: Госгеолгиздат, 1949. Кн. 1, 2.
5. Елина Г. А. Корреляция спорово-пыльцевых спектров голоцена Карельской АССР, Ленинградской области и Финляндии // Палинология голоцена. М.: Наука, 1971. С. 91–104.
6. Елина Г. А., Лукашов А. Д., Юрковская Т. К. Позднеледниковые и голоцен восточной Фенно-скандии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. 242 с.
7. Заславская Н. В. Флора и растительность засоленных приморских экотопов западного побережья Белого моря: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2007. 24 с.
8. Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Д. Д. Послеледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова / Ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2005. С. 15–25.
9. Колька В. В., Корсакова О. П. Относительное перемещение береговой линии Белого моря и возраст геологических объектов – каменных лабиринтов Кольского региона // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Междунар. науч. конф. по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2009. С. 179–184.
10. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры Европейской части СССР. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 171 с.
11. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Lamiaceae-Zygophyllaceae. Л.: Наука, 1978. 184 с.
12. Лаврова М. А. История Белого моря // Последний европейский ледниковый покров. К VII Конгрессу INQUA (США, 1965). М.: Наука, 1965. С. 267–276.
13. Лаврова Н. Б., Колька В. В., Корсакова О. П. Пыльца как индикатор миграции береговой линии Белого моря // Эволюция органического мира и биотические кризисы: Материалы LVI сессии Палеонтологического общества при РАН (5–9 апреля 2010 г.). СПб., 2010. С. 64–66.
14. Лийвранд Э. Методические проблемы палиоистратиграфии плейстоцена. Таллинн: Валгус, 1990. 176 с.
15. Лобанова Н. В. Петроглифы старой Залавруги: новые данные – новый взгляд // Археология, этнография и антропология Евразии. 2007. № 1. С. 127–135.
16. Невесский Е. Н., Медведев В. С., Калинин В. В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
17. Пыльцевой анализ / Под ред. И. М. Покровской. М.: Гостоптехиздат, 1950. 571 с.
18. Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1983. 216 с.
19. Система Белого моря. Т. 1. Природная среда водосбора Белого моря / Отв. ред. А. П. Лисицын. М.: Научный мир, 2010. 480 с.
20. Тарасов А. Ю., Мурашкин А. И. Новые материалы с поселения Залавруга I и проблема датировки петроглифов Новой Залавруги // Археологические вести. 2002. № 9. С. 41–44.
21. Шелехова Т. С. История развития малых озер Прибеломорской низменности в голоцене по данным диатомового анализа // Материалы 4-й междунар. науч. конф. «Теоретические и прикладные аспекты современной лимнологии». Минск, 2009. С. 55–58.
22. Шелехова Т. С., Колька В. В., Корсакова О. П. Диатомовые комплексы голоцена в донных осадках озер карельского побережья Белого моря // Материалы XI междунар. науч. конф. диатомологов стран СНГ «Диатомовые водоросли как биоиндикаторы современного состояния окружающей среды и их роль в палеоэкологии и биоистратиграфии». Минск, 2009. С. 142–144.
23. Шелехова Т. С., Колька В. В., Корсакова О. П. Особенности диатомовых комплексов в донных осадках озер карельского побережья Белого моря // Эволюция органического мира и биотические кризисы. LVI сессия палеонтологического общества. СПб., 2010. С. 117–119.
24. Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б. Палеоэкологические условия развития юго-западного Беломорья в голоцене // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 11. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 254–265.
25. Grimm E. S. TILIA and TILIA GRAPH: Pollen spreadsheet and graphics programm // 8th International Palynological Congress. Programm and Abstracts. Aix-en-Provence, France, 1992. 56 p.
26. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae // Süßwasserflora von mitteleuropa / Ed. by H. Ettl, J. Gerloff, H. Heying, D. Mollenhauer. Band 2/1–4. Stuttgart: G. Fisher Verlag, 1986–1991.
27. Renberg I., Hellberg T. The pH history of Lakes in Southwestern Sweden, as calculated from subfossil diatom flora of the sediments // Ambio. Vol. 11. № 1. 1982. P. 30–33.
28. Tynni R. Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen VIII–XI. Geol. Surv. Finland Bull. 274: 1–55 (1975); 284: 1–37 (1976); 296: 1–55 (1978); 312: 1–93 (1980).

УДК 612.53+616.831-005.4

ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА ГЕРАСИМОВА

доктор медицинских наук, доцент кафедры физиологии человека и животных медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет
gerasimova@petrsu.ru

СВЕТЛАНА ЮРЬЕВНА БЕРЛОГИНА

аспирант кафедры физиологии человека и животных медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет
sharparsv@yandex.ru

МЕХАНИЗМЫ ХОЛОД-ИНДУЦИРОВАННОЙ ВАЗОКОНСТРИКЦИИ В ПОСТИНСУЛЬТНОМ ПЕРИОДЕ

В группе пациентов, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения, выявлена усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция, которая возникает преимущественно за счет гуморально-клеточных факторов при недостаточном участии нейрогенных механизмов.

Ключевые слова: острое нарушение мозгового кровообращения, холод-индуцированная вазоконстрикция, локальный холодовой тест, вариабельность ритма сердца, вызванный кожный вегетативный потенциал

Сохранение здоровья в неблагоприятных климатических условиях Европейского Севера, вызывающих значительное напряжение функций организма, представляет собой комплекс медицинских, социальных и экологических проблем. Среди факторов, действующих на организм человека в северных регионах, холод рассматривают как влияние, вызывающее наибольший дискомфорт [10], [15], [30]. Адаптация к холоду, направленная на сохранение и поддержание гомеотермии, сопровождающаяся значительными изменениями нейрогуморальной регуляции и метаболизма, затрагивает практически все системы организма человека. Длительное воздействие низкой температуры окружающей среды приводит к общим нарушениям в организме в виде повышенной гемоконцентрации, склонности к развитию артериального тромбоза и увеличивает риск гипотермии [24], [31]. Считается, что для молодых здоровых людей указанные механизмы редко представляют опасность, однако в более старшей возрастной группе они служат предпосылкой к развитию и прогрессированию ряда заболеваний именно в холодный период года, а также серьезно увеличивают риск смерти от нарушений кровообращения [24], в том числе от инсультов [12], [25], [27].

Высокая частота заболеваний системы кровообращения на Севере во многом обусловлена ее активным участием в адаптационных реакциях организма при длительном действии холодного климата, регуляторное звено которых составляет увеличение адренореактивности тканей [13]. Поэтому функциональное состояние сердечно-сосудистой системы является одним из ключевых звеньев реактивности организма в условиях холодного климата.

Напряжение регуляторных систем организма, связанное с адаптацией к Северу, проявляется склонностью к сосудистым реакциям вазоспастического характера [3], [4], [28], что составляет патогенетическую основу проявлений большого спектра так называемых «холод-ассоциированных симптомов», включая феномен Рейно, или усиленную холод-индуцированную вазоконстрикцию, боли, нарушения чувствительности и изменения цвета открытых частей тела [5], [19], [20], [22], [26].

Начальный ангиоспазм как главное проявление феномена Рейно возникает в результате сложного взаимодействия трех основных факторов: изменения нервной регуляции тонуса сосудов, вазомоторной формы дисфункции эндотелия и свойств гладкомышечных элементов [21]. Значение нервной регуляции проявляется в повышении α_2 -адренореактивности сосудов кожи [18], [21], [23]. Помимо этого, возникновение первичного феномена Рейно связывают с постденервационной гиперчувствительностью гладкомышечных элементов сосудов к циркулирующим адреналину и норадреналину [14].

Ранее нами было выявлено повышение частоты холод-ассоциированных симптомов, в том числе феномена Рейно, и другие признаки высокой чувствительности к холоду у пациентов, перенесших острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) [6]. Учитывая данные многочисленных эпидемиологических исследований по увеличению частоты инсультов в северных регионах Российской Федерации [8] и в холодное время года [12], [25], [27], [29], а также сходство некоторых механизмов развития холод-индуцированных сосудистых реакций и нарушений мозгового кровообращения, целью прове-

денного исследования было изучение особенностей холод-индуцированных реакций кистей рук у пациентов, перенесших ОНМК, а также особенностей вегетативной регуляции холод-индуцированной вазоконстрикции.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 50 человек (18 мужчин, 32 женщины). Исследуемая группа пациентов, перенесших ОНМК по ишемическому типу, включала 35 человек, прошедших лечение в отделении ОНМК Республиканской больницы им. В. А. Баранова. Диагноз ОНМК верифицирован с помощью компьютерной томографии мозга при поступлении в стационар. Референтную группу составили 15 практически здоровых лиц. Исследованные группы были идентичны по возрасту (средний возраст $55,7 \pm 1,01$ года) и антропометрическим показателям (средний рост $166,03 \pm 1,63$ см, средняя масса тела $75,65 \pm 2,23$ кг, индекс массы тела $27,62 \pm 0,80$).

Разделение на подгруппы ОНМК произведено на основании МКБ-10 по продолжительности сохранения неврологической симптоматики: транзиторная ишемическая атака (ТИА, $n = 10$), завершившийся инсульт с малым неврологическим дефицитом (микроинсульт, МИ, $n = 16$), завершившийся инсульт с грубым неврологическим дефицитом (инсульт, И, $n = 9$). Оценка неврологического статуса, включая уровень сознания, очаговую неврологическую симптоматику в форме двигательного дефицита, чувствительных, речевых, зрительных, атактических нарушений, высших корковых функций, проведена по шкале инсульта национального института здоровья NIHSS [32] при поступлении в стационар и на 21-е сутки от развития заболевания. Для оценки степени нарушения жизнедеятельности на 28-е сутки от момента развития заболевания использована модифицированная шкала Рэнкина [33]. Характеристики исследованных групп ОНМК приведена в табл. 1.

Таблица 1
Характеристики неврологического статуса в группе ОНМК

Исследуемая группа ОНМК	NIHSS при поступлении	NIHSS на 21-е сутки	Модифицированная шкала Рэнкина
ТИА, $n = 10$	$1,60 \pm 0,95$	0	0
МИ, $n = 16$	$3,44 \pm 0,73$	$0,50 \pm 0,18$	$0,31 \pm 0,12$
И, $n = 9$	$20,00 \pm 1,61$	$11,11 \pm 0,90$	$4,00 \pm 0$

Функциональные тесты выполнены в лаборатории при температуре воздуха $23,68 \pm 0,92$ °C после 30-минутной экспозиции. Локальный холодный тест проведен путем погружения кисти одной руки в холодную воду с тающим льдом температурой $4,09 \pm 1,33$ °C на 3 мин с после-

дующей термометрией кожи (Тк) в течение 15 мин с интервалом в 3 мин в симметричных точках обеих рук на уровне кисти, середины предплечья и локтя. В группе ОНМК холодная проба проводилась дважды в разное время с охлаждением паретичной конечности и интактной конечности.

Для оценки вегетативной регуляции организма с помощью прибора «ВНС-спектр» («Нейрософт», Иваново) выполнен анализ временных и спектральных характеристик variability ритма сердца (BPC). Оценка параметров BPC выполнена на 5-минутных стационарных отрезках записей ЭКГ в покое и при проведении дыхательной и ортостатической проб, отражающих реактивность автономной нервной системы [2], [9].

Временной анализ BPC включал определение следующих показателей: RRNN, мс (средняя длительность интервалов R-R), R-R min и R-R max, мс (минимальное и максимальное значения R-R интервала), SDNN, мс (стандартное отклонение R-R-интервалов, указывает на суммарный эффект влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы), RMSSD, мс (квадратный корень из среднего значения квадратов разностей величин последовательных R-R интервалов, отражающий активность парасимпатического звена вегетативной регуляции), pNN50, % (процент последовательных интервалов R-R, различие между которыми превышает 50 мс, отражающий влияние парасимпатического звена вегетативной регуляции), CV, % (коэффициент вариации показателя variability ритма сердца). Анализ спектральных характеристик BPC включал оценку TP, мс² (общей спектральной мощности в диапазоне от 0,003 до 0,4 Гц, отражающей суммарную активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм), и компонентов спектра в абсолютных (мс²) и относительных (%) величинах в диапазоне очень низких частот (VLF), отображающих влияние надсегментарного уровня регуляции, тест центральных эрготропных и гуморально-метаболических факторов; низких частот (LF), связанных с колебаниями активности симпатического отдела вегетативной нервной системы, высоких частот (HF), соответствующих уровню активности парасимпатического звена регуляции. Проба с глубоким управляемым дыханием с частотой 6 мин⁻¹ дополнительно включала определение индекса кардиореспираторной синхронизации (KPC), при анализе активной ортостатической пробы дополнительно определяли коэффициент K30/15, который характеризует реактивность парасимпатического отдела [9].

Исследование параметров вызванного кожного вегетативного потенциала (ВКВП) ладоней обеих рук проводилось при однократной зрительной стимуляции (серия из 5–7 стимулов длительностью 20 мс) [2]. Для оценки использовались следующие показатели ВКВП: L – латентный период, A₁ – амплитуда первой фазы, S₁ – длительность первой фазы, A₂ – амплитуда

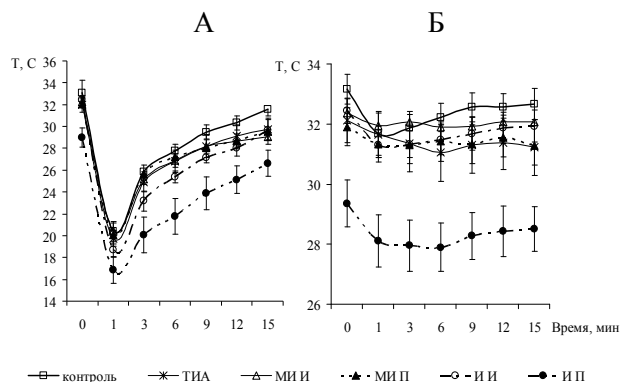
второй фазы, S_{2A} – длительность восходящей фазы, S_{2B} – длительность нисходящей фазы.

Анализ результатов выполнен с использованием методов вариационной статистики [7]. Для сравнения совокупностей использованы непараметрические критерии оценки (критерий знаков, Колмогорова – Смирнова, Манна – Уитни). Влияние факторов оценивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA), непараметрического корреляционного анализа. Достоверными считали результаты при уровне значимости p менее 0,05. Статистическая обработка результатов выполнена программой «Statistica 5.0 for Windows».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании температуры кожи рук во время проведения локального холодного теста были получены следующие результаты. В контрольной группе исходные значения T_k на кисти составляли $33,05 \pm 0,53$ °C, на предплечье – $32,65 \pm 0,42$ °C, в области локтя – $32,73 \pm 0,42$ °C. В группе ОНМК выявлены более низкие исходные значения T_k кистей по сравнению с контрольной группой, особенно в паретичной конечности в группе ИИ ($31,00 \pm 0,55$ °C, $p < 0,05$) (см. рисунок).

После проведения локального холодного теста более глубокое снижение T_k наблюдалось в группе И в паретичной конечности во всех исследуемых точках. Изменения выявлены как при охлаждении соответствующей кисти, так и при проведении холодной пробы на интактной конечности ($p < 0,05$). В период восстановления в контрольной группе изменения T_k происходили в пределах охлаждаемой конечности, что, по нашему мнению, свидетельствует о сохранности сегментарных механизмов управления сосудистым тонусом. В группе ОНМК в период восстановления в целом регистрировались более низкие значения T_k . Существенные отклонения T_k наблюдались в группе И в паретичной руке при проведении холодной пробы на интактной конечности ($p < 0,05$). К концу исследования низ-



Температура кожи охлаждаемой (А) и контралатеральной (Б) кисти при выполнении локального холодного теста: ТИА – транзиторная ишемическая атака, МИ И, И И – пациенты с микроинсультом и инсультом, интактная конечность, МИ П, И П – пациенты с микроинсультом и инсультом, паретичная конечность. Достоверность отличий от контрольной группы * – $p < 0,05$.

кие значения T_k сохранялись в группе ОНМК в целом ($p < 0,01$), особенно в группах МИ и И в паретичной руке при выполнении холодной пробы на интактной конечности ($p < 0,05$).

Показатели временных и спектральных характеристик контрольной группы соответствовали возрастной норме [1]. При оценке временных и спектральных характеристик ВРС в покое выявлено, что в различных группах ОНМК наблюдается преобладание гуморально-метаболического фактора, а в нервной регуляции – преобладание симпатического отдела вегетативной нервной системы (табл. 2, 3). В группе ТИА при оценке кардиоритмограмм выявлена большая вариабельность индивидуальных временных и спектральных характеристик ВРС, которые указывают на проявления дистонии вегетативной нервной системы [16]. В структуре спектра в группе ТИА прослеживается практически равное влияние парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы.

Таблица 2

Показатели временного анализа вариабельности сердечного ритма в покое
(данные представлены в формате Ме (25%; 75%))

Параметр	Контроль	ТИА	МИп	МИл
ЧСС, /мин	66 (62; 71)	64 (59; 68)	67 (55; 70)	64 (64; 68)
NQRS	325 (305; 352)	295 (261; 319)	277 (246; 345)	318 (312; 332)
RRMIN, мс	800 (748; 840)	795 (683; 828)	865 (783; 983)	835 (790; 855) **#+
RRMAX, мс	995 (935; 1060)	1125 (955; 1190)	955 (912,5; 1173)	995 (940; 1040)
RRNN, мс	910 (849; 967)	944 (878; 1031)	901 (858; 1098)	934 (887; 941)
SDNN, мс	31 (23; 36)	42 (32; 53)*	22 (19; 30)	26 (16; 32) ***##++
RMSSD, мс	19 (14; 22)	30 (21; 39)	12 (10,5; 20)	15 (11; 19)*+
PNN50, %	1,3 (0,1; 3,7)	2,8 (1,1; 8,2)*	0,3 (0,1; 1,7)#	0,3 (0; 2,0)+
CV, %	3,4 (2,4; 3,8)	4,3 (3,4; 5,6)*	2,5 (2,1; 3,0)	2,6 (1,8; 3,7) ***##++++
KPC	5,3 (4,3; 10,9)	9,2 (6,3; 15,5) ***	7,5 (6; 8,8)###	11,8 (9,6; 15,7) ***++

Примечание. МИп – группа пациентов с микроинсультом в правом каротидном бассейне, МИл – группа пациентов с микроинсультом в левом каротидном бассейне; достоверность отличий от контрольной группы: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$; от ТИА: # – $p < 0,05$, ## – $p < 0,01$, ### – $p < 0,001$; от МИп: + – $p < 0,05$, ++ – $p < 0,01$, +++ – $p < 0,001$.

Таблица 3

Показатели спектрального анализа вариабельности сердечного ритма в покое
(данные представлены в формате Ме (25%; 75%))

Параметр	Контроль	ТИА	МИ
TP	1112 (400; 1595)	1651 (767; 5139)*	865 (341; 260)##
VLF	378 (222; 648)	1099 (291; 1379)**	371 (199; 714)##
LF	180 (120; 430)	348 (229; 1595)*	153,5 (80; 290)#
HF	119 (69; 201)	377 (185; 1965)*	134 (55; 302)
LFNORM	63,9 (47,3; 80,9)	46,5 (41,6; 68,4)	57,5 (43; 62)
HFNORM	36,1 (19,1; 52,7)	53,5 (31,6; 58,4)	42,5 (38; 57)
LF-HF	1,77 (0,87; 4,23)	0,87 (0,71; 2,16)	1,36 (0,77; 1,62)
% VLF	48,4 (32,4; 59,4)	44,2 (27,5; 60,9)	56,2 (45,3; 67,1)
% LF	26,4 (12,9; 45,5)	23,3 (18,5; 34,8)	24,9 (18; 27)
% HF	15,3 (8,23; 31,3)	22,8 (10,1; 40)	18,7 (15; 25)

Примечание. Достоверность отличий от контрольной группы: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$; от ТИА: # – $p < 0,05$, ## – $p < 0,01$.

Для группы МИ характерно снижение вариабельности сердечного ритма по сравнению с контрольной группой и группой ТИА (табл. 2). Выявлены различия временных показателей ВРС между пациентами с ишемическим инсультом в правом и левом каротидных бассейнах: прослеживаются достоверно более низкие показатели вариабельности (SDNN, RMSSD, CV) при локализации ишемического очага в правом каротидном бассейне по сравнению с левым, что согласуется с результатами исследования ВРС у пациентов в остром периоде ишемического инсульта [11], [17]. При спектральном анализе ВРС в группе МИ выявлены более низкие значения спектральной мощности (табл. 3). Эти данные коррелируют с изменениями в резидуальном периоде ишемического инсульта в вертебробазилярном и каротидном бассейнах, описанными в литературе [11], [17]. Помимо этого в группе МИ происходило снижение уровня вегетативных влияний: в структуре спектра определялась значительная доля VLF-компонента, что указывает на большой вклад в регуляцию гуморально-метаболических факторов и недостаток сегментарного звена автономной регуляции [9], [16], [17].

При проведении функциональных тестов с произвольной гипервентиляцией и во время ортостатической пробы в группах ОНМК также наблюдалось недостаточное участие сегментарных

механизмов вегетативной регуляции сердечного ритма: сниженные показатели кардиореспираторной синхронизации ($p < 0,001$), уменьшение параметра K30/15 ($p < 0,01$). Полученные нами результаты подтверждают дефицит автономной регуляции деятельности сердца и являются прогностически неблагоприятным признаком, свидетельствующим о неполноценности неспецифических адаптационных систем [16], [17].

При анализе ВКВП в группах ОНМК выявлено увеличение параметров ВКВП, характеризующих активность эрготропных центров (табл. 4). В группе МИ выявлены асимметричные изменения параметров ВКВП. Отмечены более высокие показатели амплитуды первой фазы ВКВП (A_1) на интактной конечности, чем в контрольной группе ($p < 0,001$), и на паретичной конечности ($p < 0,001$). Также наблюдались более высокие значения амплитуды второй фазы ВКВП (A_2) по сравнению с контрольной группой ($p < 0,01$) и паретичной конечностью ($p < 0,05$). Полученные результаты свидетельствуют о сохранности вегетативной регуляции на интактной конечности у пациентов с МИ, в то время как в паретичной конечности наблюдаются низкие значения обеих фаз ВКВП, что может расцениваться как автономная дисфункция, возникшая вследствие ишемического инсульта.

Таблица 4

Параметры ВКВП у пациентов с разными формами ОНМК

Группы	Контроль	ТИА	МИ И	МИ П
L,c	1,42±0,05	1,42±0,05	1,33±0,07	1,39±0,06
A ₁ ,мВ	1,13±0,17	1,04±0,11	2,04±0,18***###	1,03±0,15□□□
S ₁ ,с	1,25±0,12	1,00±0,09	1,49±0,09##	1,29±0,11
A ₂ ,мВ	1,61±0,18	2,75±0,41*	3,33±0,52**	2,03±0,37□
S _{2A} ,с	2,40±0,40	1,94±0,16	3,39±0,47#	2,79±0,47*
S _{2B} ,с	2,36±0,19	3,43±0,35**	2,70±0,25#	2,30±0,26##

Примечание. ТИА – транзиторная ишемическая атака, МИ И – пациенты с микроинсультом, интактная конечность; МИ П – пациенты с микроинсультом, паретичная конечность; достоверность отличий от контрольной группы: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$; от ТИА: # – $p < 0,05$, ## – $p < 0,01$, ### – $p < 0,001$; от МИ инт. □ – $p < 0,05$; □□ – $p < 0,01$; □□□ – $p < 0,001$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление результатов проведенного нами комплексного исследования позволяет сделать вывод о том, что усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция у пациентов, перенесших ОНМК, реализуется с преимущественным участием гуморально-клеточных механизмов при недостатке нейрогенных факторов. Таким образом, выявление данного признака свидетельствует

о перестройке системы вегетативной регуляции организма, предрасполагающей к возникновению нарушений мозгового кровообращения. Полученные экспериментальные данные соответствуют ранее сформулированной гипотезе о значении усиленной холод-индуцированной вазоконстрикции в качестве донозологического признака при дезадаптации к холоду [4], [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойцов С. А. Возрастные особенности изменения показателей вариабельности сердечного ритма у практически здоровых лиц // Вестник аритмологии. 2002. № 26. С. 57–60.
2. Вейн А. М. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2003. 752 с.
3. Герасимова Л. И. Влияние длительности проживания на Европейском Севере на частоту холод-ассоциированных симптомов // Вестник РУДН. 2000. № 3. С. 35–38.
4. Герасимова Л. И. Усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция (феномен Рейно) как признак аварийного регулирования функций организма при адаптации к холоду // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2007. Т. 6. № 1. С. 40–42.
5. Герасимова Л. И. Усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция как донозологический признак при адаптации к условиям Севера // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2008. № 4 (96). С. 69–71.
6. Герасимова Л. И., Берлогина С. Ю. Холод-индуцированная реактивность у пациентов с нарушениями мозгового кровообращения // Медицинский вестник Башкортостана. 2009. Т. 4. № 2. С. 32–33.
7. Гланц С. Медико-биологическая статистика: Пер. с англ. М.: Практика, 1999. 459 с.
8. Гусев Е. И., Скворцова В. И., Стаховская Л. В. Проблема инсульта в Российской Федерации: время активных совместных действий // Журнал неврологии и психиатрии. 2007. № 8. С. 4–10.
9. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. Иваново, 2002. 288 с.
10. Потапов А. И., Истомин А. В., Шушкова Т. С. и др. Гигиенические проблемы сохранения здоровья населения в экстремальных условиях Севера // Вестник Российской АМН. 2005. № 3. С. 19–23.
11. Самохвалова Е. В., Гераскина Л. А., Фоякин А. В. Инфаркты мозга в каротидной системе и вариабельность сердечного ритма в зависимости от поражения островковой доли // Неврологический журнал. 2009. № 4. С. 10–15.
12. Сахаров В. Ю., Пенина Г. О. Региональный регистр инсульта в Республике Коми – предварительная оценка // Bulletin of the International Scientific Surgical Association. 2008. Vol. 3. № 2–3. С. 48–50.
13. Степанова Г. К. Физическая работоспособность и ее связь с морфофункциональными характеристиками у различных этносов Якутии // Физиология человека. 2005. Т. 31. № 3. С. 124–130.
14. Табеева Р. Т. Неврологические аспекты феномена Рейно // Consilium medicum. 2002. Т. 4. № 8. С. 433–442.
15. Хаснулин В. И., Собакин А. К., Хаснулин П. В., Бойко Е. Р. Подходы к районированию территорий России по условиям дискомфорта окружающей среды для жизнедеятельности населения // Бюллетень СО РАМН. 2005. Т. 117. № 3. С. 106–111.
16. Хаспекова Н. Б. Диагностическая информативность мониторинга вариабельности ритма сердца // Вестник аритмологии. 2003. № 32. С. 15–23.
17. Уточкина И. М., Шамуров Ю. С., Миронов В. А. Прогностическое значение автономной дисрегуляции сердца при церебральных инсультах // Бюллетень сибирской медицины. 2008. № 5. С. 188–192.
18. Bailey S. R., Mitra S., Flavahan S., Flavahan N. A., Bailey S. R. Reactive oxygen species from smooth muscle mitochondria initiate cold-induced constriction of cutaneous arteries // Amer. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol. 2005. Vol. 289. № 1. P. H243–50.
19. Block J. A., Sequeira W. Raynaud's phenomenon // Lancet. 2001. Vol. 357. P. 2042–2049.
20. Campbell D. A., Kay S. P. What is cold intolerance? // J. Hand. Surg. (Br). 1998. Vol. 23. № 1. P. 3–5.
21. Cooke J. P., Marshall J. M. Mechanism of Raynaud's disease // Vascular Medicine. 2005. Vol. 10. P. 293–307.
22. Hassi J., Raatikka V. P., Huurre M. Health-check questionnaire for subjects exposed to cold // Int. J. Circumpolar Health. 2003. Vol. 62. № 4. P. 436–443.
23. Kanagy N. L. Alpha(2)-adrenergic receptor signaling in hypertension // Clin. Sci. 2005. Vol. 109. № 5. P. 431–437.
24. Keatinge W. R. Winter mortality and its causes // Int. J. Circumpolar Health. 2002. Vol. 61. P. 292–299.
25. Makinen T. M., Hassi J. Health Problems in Cold Work // Industrial Health. 2009. Vol. 47. P. 207–220.
26. Maricq H. R., Carpentier P. H., Weinrich M. C. et al. Geographic variation in the prevalence of Raynaud's phenomenon: A 5 region comparison // J. Rheumatol. 1997. Vol. 24. P. 879–889.
27. Matsumoto M., Ishikawa S., Kajii E. Cumulative Effects of Weather on Stroke Incidence: A Multi-Community Cohort Study in Japan // J. epidemiology. 2010. № 1. P. 1–7.
28. Maximov A. L., Koscheyev V. S. Thermal profile of the hands as an indicator of the human adaptation to extreme environments // VIII World congress International society for adaptive medicine. 2006. P. 25–26.
29. McArthur K., Dawson J., Walters M. What is it with the weather and stroke? // Expert Rev. Neurother. 2010. Vol. 10. № 3. P. 243–249.
30. McGeehin M. A., Mirabelli M. The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States // Environ Health Perspect. 2001. 109 (Suppl. 2). P. 185–189.
31. Näyhä S. Cold and the risk of cardiovascular diseases // Int. J. Circumpolar Health. 2002. 61. P. 373–380.
32. Spilker J., Kongable G., Barch C. et al. Using the NIH Stroke Scale to assess stroke patients. The NINDS rt-PA Stroke Study Group // J. Neurosci Nurs. 1997. Vol. 29. № 6. P. 384–392.
33. Van Swieten J. C., Koudstaal P. J., Visser M. C. et al. Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients // Stroke. 1988. Vol. 19. P. 604–607.

УДК 617-053.2

ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ ГРИГОВИЧ

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой детской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет

psurg@psu.karelia.ru

СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ НИКИТИН

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры детской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет

ssnikitin@yandex.ru

РИММА АЛЕКСАНДРОВНА ЕЛАГИНА

врач-нейрофизиолог, Детская республиканская больница (г. Петрозаводск)

drb-glav@mail.ru

НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА КУШНАРЕВА

врач функциональной диагностики сердечно-сосудистой системы, Детская республиканская больница (г. Петрозаводск)

drb-glav@mail.ru

СВЕТЛАНА АНДРЕЕВНА КОНОНОВА

ассистент кафедры инфекционных болезней медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет

lana-1@drevlanka.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ДЕТЕЙ С СОЧЕТАННЫМИ НАРУШЕНИЯМИ ФУНКЦИЙ ТАЗОВЫХ ОРГАНОВ

Исследована вариабельность сердечного ритма (ВСР) 120 детям 5–15 лет (68 мальчиков и 52 девочки) с сочетанными нарушениями функций тазовых органов (СНФТО), проведена фоновая запись с исследованием параметров временного и спектрального анализа, ортостатическая и дыхательная пробы. Для контроля взята группа из 120 здоровых пациентов 5–15 лет (64 мальчика, 56 девочек), выполнен такой же объем исследования ритма сердца. Обнаружено наличие гиперактивности симпатической нервной системы у детей с СНФТО по всем анализируемым параметрам ВСР.

Ключевые слова: дети, гиперактивный мочевой пузырь, запоры, сочетанные нарушения функций тазовых органов, вариабельность сердечного ритма, вегетативная нервная система, симпатическая нервная система

Нейрогенные дисфункции мочевого пузыря (НДМП) у 40–45 % детей сочетаются с дисфункцией толстой и прямой кишки, проявляющейся клинически запорами и/или энкопрозом. Недержанием кала страдают 1–2 % детей в возрасте 7–10 лет. При этом недержание мочи и кала одновременно встречается в 12 раз чаще, чем только недержание кала [3].

В патогенезе гиперактивного мочевого пузыря (ГАМП) известны следующие факторы: задержка созревания нейроанатомической структуры, ответственной за нормальный контроль над мочевым пузырем, гипоксия мочевого пузыря, гипоталамо-гипофизарная дисфункция и повышенная чувствительность детрузора к медиатору парасимпатической нервной системы (ПСНС) ацетилхолину. В последние два десятилетия появилось множество работ, доказывающих прямое влияние симпатической нервной системы (СНС) на формирование ГАМП. Основной «мишенью» для СНС служат сосудистая система мочевого пузыря и альфа-адренорецепторы, высокая ак-

тивность которых определяет спазм сосудов микроциркуляторного русла на органном уровне и приводит к хронической ишемии органа. Реографические исследования мочевого пузыря, кровотока и гистология полосок гиперактивного детрузора указывают на наличие хронической тканевой гипоксии [1], [2], [8], [9], [12].

В патогенезе запоров (анатомической основой которых являются различные варианты идеопатического мегаколona) прослеживаются схожие с НДМП механизмы. Сюда относятся нарушения нервного обеспечения со стороны парасимпатических нервов крестцовых сегментов спинного мозга и сосудистая патология, которая имеет место во всех случаях органического и функционального колостаза [4], [10]. Имеет большое значение врожденный или приобретенный гипоганглиоз подслизистых и межмышечных нервных сплетений, наличие которого подтверждают гистологические исследования стенки толстой кишки и гистохимические исследования уровня ацетилхолинэстеразы. Развитие приобретенного

гипо- и аганглиоза обусловлено в первую очередь нарушением микроциркуляции, которое происходит не без участия симпатической иннервации.

Таким образом, нарушения акта мочеиспускания и функции толстой кишки имеют общие механизмы развития. Это обусловлено тем, что толстая кишка и нижние мочевые пути имеют тесную анатомо-функциональную связь за счет одинакового эмбрионального происхождения, иннервации, кровоснабжения, эндокринной и центральной (спинномозговой и корковой) регуляции функций [11].

Учитывая, что патогенетические цепочки расстройств тазовых органов прямо или косвенно ведут к симпатической гиперактивности, представляется целесообразным включить в программу обследования этих детей исследование вегетативной нервной системы (ВНС) с помощью известного метода – изучения вариабельности сердечного ритма.

Целью нашей работы являлось уточнение гипотезы о наличии симпатической гиперактивности у детей с СНФТО с помощью метода исследования ВСР.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под нашим наблюдением находились 120 детей с СНФТО в возрасте 5–15 лет (68 мальчиков и 52 девочки). Нарушения функций тазовых органов у детей носили функциональный характер и представляли сочетание гиперактивного мочевого пузыря и идеопатического мегаколона, который клинически проявлялся запорами. Для контроля взята группа из 120 здоровых пациентов 5–15 лет (64 мальчика, 56 девочек). Помимо комплексного урологического, проктологического и нейрофизиологического обследования, всем детям проведено исследование ВСР. Производили фоновую запись в покое и выполняли функциональные пробы – ортостатическую и дыхательную. Эти пробы наиболее информативны и приемлемы для применения у детей.

Запись кардиоинтервалографии и ее анализ производили по методике, описанной Л. М. Макаровым (2000) и В. М. Михайловым (2000, 2002) [5], [6], [7]. Использовался прибор «ВНС-спектр», версия 1.0. Цифровой материал подвергнут статистической обработке с помощью пакета «Анализ данных» программы Excel. В качестве критерия достоверности использован показатель уровень надежности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результатах исследования в контрольной группе и у пациентов с СНФТО больших отличий по полу и возрасту не отмечено, поэтому отдельные группы было решено не создавать. Результаты показателей фоновой записи у пациентов с СНФТО в сравнении с контрольной группой представлены в табл. 1–2.

Таблица 1

Результаты временного анализа показателей фоновой записи ВСР у пациентов с СНФТО в сравнении с контрольной группой

Показатель	СНФТО				Контроль			
	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN 50 %	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN 50 %
n	120				120			
M	601,57	22,47	29,6	11,33	780,65	60,49	59,3	30,8
m	0,48	0,41	0,37	0,48	1,62	0,24	0,51	0,32
σ	5,22	4,46	4,04	5,22	17,78	2,62	5,56	3,46
Уровень надежности (95 %)	0,94	0,8	0,73	0,94	3,21	0,47	1	0,62

Таблица 2

Сводная таблица результатов спектрального анализа у детей с СНФТО в сравнении с контрольной группой

Показатель	СНФТО					Контроль				
	TP	VLF	LF	HF	LF/HF	TP	VLF	LF	HF	LF/HF
n	120					120				
M	1861	1233	412	216	1,91	5095	1364	1709	2023	0,85
m	45,58	45,62	0,51	0,47	0,005	4,58	1,34	3,33	1,58	0,001
σ	499	499	5,59	5,18	0,05	50,13	14,69	36,45	17,31	0,01
Уровень надежности (95 %)	90	90	1	0,93	0,009	9	2,65	6,59	3,13	0,002

Снижение средней длительности интервалов R-R (показателя RRNN; интервалы R-R между комплексами QRS нормальных кардиоциклов называются интервалами N-N, их средняя длительность обозначается аббревиатурой RRNN) у детей с СНФТО указывает на ограничение резервных возможностей сердечно-сосудистой системы (ССС) и говорит о преобладании тонуса СНС при исследовании в покое. Показатель SDNN (standard deviation of the NN interval – стандартное отклонение величин нормальных интервалов R-R (N-N)) зависит от влияния отделов ВНС на синусовый узел, увеличивается при преобладании влияний ПСНС и снижается при смещении вегетативного баланса в сторону преобладания СНС. SDNN у детей с СНФТО снижен, что указывает на преобладание симпатических влияний. RMSSD (the square root of the mean squared differences of successive N-N interval – квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар ин-

тервалов N-N) – показатель активности ПСНС. Чем он выше, тем более активен парасимпатический отдел. Он отражает способность синусового узла к концентрации сердечного ритма. По результатам наших исследований, у здоровых детей 5–15 лет независимо от пола за норму можно принять показатель $59,3 \pm 5,56$ ($M \pm \sigma$). Этот показатель увеличивается при преобладании активности ПСНС над СНС, но, согласно нашим данным, такое преобладание отсутствует. Значение показателя pNN 50 % (процент последовательных интервалов N-N, различие между которыми превышает 50 мс) также преимущественно определяется влиянием ПСНС, и он также возрастает при преобладании ее активности. Показатель pNN 50 % у наших пациентов по сравнению с нормой снижен. Как и в ситуации с предыдущим показателем, такое снижение по крайней мере указывает на отсутствие превалирования активности ПСНС у детей с СНФТО.

При проведении спектрального анализа фоновой записи получены следующие данные. У детей с СНФТО мощность высокочастотного (high frequency) спектра (HF-спектра) снижена почти в 10 раз, что говорит о высокой активности СНС. Мощность низкочастотного (low frequency) спектра (LF-спектра) у детей с СНФТО снижена более чем в 4 раза, что также свидетельствует о высокой активности СНС. Колебания очень низкой частоты (very low frequency – VLF) существенной роли для суждения об активности ВНС не играют, в данной работе приводятся только в качестве справки, так как у нее низкая статистическая достоверность. Но тем не менее при СНФТО мощность VLF-спектра по сравнению с контрольной группой практически не изменилась (табл. 2). Показатель общей мощности спектра (TP, total power) в связи с тем, что в ее структуру входит VLF, также из-за низкой статистической достоверности не может быть точным ориентиром для характеристики состояния ВНС в данном исследовании. Однако TP у детей с СНФТО из-за снижения мощности волн HF и LF тоже снизилась, что подразумевает снижение адаптационных возможностей CCC в связи с высоким исходным уровнем активности СНС. Таким образом, среди характеристик спектрального анализа в нашем исследовании приемлемыми оказались HF и LF. Имеет значение также их соотношение (LF/HF) – оно отражает преобладание активности того или иного отдела ВНС. Обычно у здоровых детей это соотношение не превышает значения 1,38 [5], [6], [7]. У детей с СНФТО LF/HF составляет $1,91 \pm 0,05$ ($M \pm \sigma$), а в контрольной группе – $0,85 \pm 0,01$ ($M \pm \sigma$). Таким образом, и по соотношению LF/HF выявлено преобладание активности СНС над ПСНС у детей с СНФТО.

Результаты анализа показателей при проведении функциональных проб представлены в табл. 3–4.

Таблица 3

Результаты временного анализа показателей ВСР при проведении ортостатической пробы у пациентов с СНФТО в сравнении с контрольной группой

Показатель	СНФТО				Контроль			
	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN 50 %	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN 50 %
n	120				120			
M	531	20	24	9,15	654	46	24,5	5,45
m	0,36	0,48	0,23	0,34	0,32	0,18	0,34	0,26
σ	3,97	5,3	2,57	3,77	3,46	2	3,69	2,83
Уровень надежности (95 %)	0,71	0,95	0,46	0,68	0,62	0,36	0,67	0,5

Таблица 4

Сводная таблица результатов спектрального анализа ортостатической пробы у детей с СНФТО в сравнении с контрольной группой

Показатель	СНФТО						Контроль					
	TP	VLF	LF	HF	LF/HF	K30:15	TP	VLF	LF	HF	LF/HF	K30:15
n	120						120					
M	1548	1116	384	468	825	1,41	4877	1414	1918	1544	1,24	1,43
m	17,6	17,7	0,31	0,42	0,08	0,005	0,65	0,38	0,4	0,45	0,0006	0,006
σ	193	194	3,36	4,58	0,83	0,05	7,18	4,16	4,35	4,88	0,006	0,069
Уровень надежности (95 %)	34,87	35	0,6	0,83	0,15	0,009	1,29	0,75	0,79	0,88	0,001	0,012

Исходно низкий показатель RRNN при проведении ортостатической пробы у детей с СНФТО и в контрольной группе почти не изменился. SDNN в ортостатической пробе несколько снизился (в большей степени в контрольной группе). Этот факт обусловлен активацией СНС после перемены положения тела, что более выражено в контрольной группе, при этом у детей с СНФТО исходно высокая активность СНС увеличилась незначительно. Показатель активности ПСНС RMSSD при проведении ортостатической пробы в контрольной группе снизился по сравнению с фоновой записью в 2 раза – при перемене положения тела активность ПСНС в норме должна быть низкой. У пациентов с СНФТО этот показатель снизился незначительно и достиг уровня контрольной группы. Исходно низкий показатель RMSSD указывает, по крайней мере, на

отсутствие преобладания влияний ПСНС у данной категории пациентов. Значение показателя рNN 50 % также преимущественно определяется влиянием ПСНС, и он также возрастает при преобладании ее активности. Показатель рNN 50 % при проведении ортостатической пробы в контрольной группе снизился по сравнению с фоновой записью по тем же причинам, что и RMSSD. У пациентов с СНФТО этот показатель снизился незначительно.

Анализируя показатели спектрального анализа при проведении ортостатической пробы, можно сказать, что и здесь четко прослеживается наличие симпатической гиперактивности: мощность HF-спектра у детей с СНФТО по сравнению с фоновой записью у пациентов уменьшилась более чем в 4 раза, а и без того исходно низкая мощность LF-спектра уменьшилась незначительно. Соответственно, при этом изменилось соотношение LF/HF – оно увеличилось в 4 раза, что указывает на значительное преобладание симпатической активности. В контрольной группе при проведении ортостатической пробы по сравнению с фоновой записью соотношение LF/HF увеличилось незначительно, что говорит о хорошем физическом состоянии и преобладании активности ПСНС.

K30:15 характеризует реактивность ПСНС. По этому коэффициенту достоверных отличий в контрольной группе и у детей с СНФТО не выявлено. Это говорит о достаточно хорошей реактивности парасимпатического отдела ВНС.

В отношении дыхательного коэффициента, также представляющего собой функцию ПСНС, существенной разницы между пациентами с СНФТО и контрольной группой не выявлено: у пациентов с СНФТО коэффициент составил $1,35 \pm 0,07$ ($M \pm \sigma$), а в контрольной группе – $1,42 \pm 0,04$ ($M \pm \sigma$). Этот факт свидетельствует об отсутствии грубых нарушений активации ПСНС.

В проведенном исследовании показано наличие гиперактивности СНС у пациентов с СНФТО. Таким образом, в патогенезе ГАМП и запоров

«сосудистый фактор» – спазм и ишемия – играют одну из главных ролей. Более того, вероятно, что тазовые расстройства являются частными проявлениями симпатической гиперактивности в широком смысле.

Таким образом, для оценки состояния ВНС у детей с СНФТО метод исследования вариабельности сердечного ритма является высокоинформативным. Этот метод широко распространен, прост для использования у детей старше 5–6 лет (в возрасте, когда дети начинают адекватно понимать и выполнять необходимые в ходе проведения исследования команды). Большим преимуществом является то, что методика неинвазивна и не вызывает у детей никаких отрицательных эмоций. Приемлемыми для детей являются фоновая запись в покое, ортостатическая и дыхательная пробы.

ВЫВОДЫ

1. Фоновая запись ВСР у пациентов с СНФТО характеризуется низкими показателями временного (RRNN, SDNN, RMSSD, рNN 50 %) и спектрального анализа с увеличением их соотношения (LF/HF).
2. При проведении ортостатической пробы у пациентов с СНФТО показатели временного анализа (RRNN, SDNN, RMSSD, рNN 50 %) существенных изменений по сравнению с фоновой записью не претерпевают, показатели спектрального анализа (HF, LF) уменьшаются с выраженным увеличением их соотношения (LF/HF), а K30:15 соответствует нормативным показателям.
3. Дыхательный коэффициент у пациентов с СНФТО практически не отличается от соответствующего показателя здоровых детей.
4. Таким образом, у детей с СНФТО при исследовании ВНС методом ВСР определяется наличие симпатической гиперактивности по всем анализируемым параметрам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишневский Е. Л. Гиперактивный мочевого пузырь у детей // Пленум правления Российского общества урологов. Тюмень, 2005. С. 322–343.
2. Вишневский Е. Л. Роль нарушений пузырного кровообращения в патогенезе ГАМП у детей // Пленум правления Российского общества урологов. Тюмень, 2005. С. 370.
3. Кольбе О. Б., Сазонов А. Н., Моисеев А. Б. и др. Сочетанные нарушения функции мочевого пузыря и толстой кишки у детей // Педиатрия. 2003. № 6. С. 1–4.
4. Ленюшкин А. И., Ким Л. А., Рыжов Е. А., Цапкин А. Е. Эволюция взгляда на этиопатогенез хронических запоров у детей // Детская хирургия. 2009. № 6. С. 48–50.
5. Макаров Л. М. Холтеровское мониторирование. М.: Медпрактика, 2000. 216 с.
6. Макаров Л. М. ЭКГ в педиатрии. М.: Медпрактика-М, 2002. 276 с.
7. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. Изд. 2-е, перераб. и доп. Иваново: Ивановская гос. мед. академия, 2002. 290 с.
8. Нейрогенные дисфункции мочевого пузыря / Под ред. М. Д. Джавад-Заде, В. М. Державина. М.: Медицина, 1989. 384 с.
9. Никитин С. С. Обоснование и эффективность сочетанного применения М холинолитиков и альфа-адреноблокаторов при лечении детей с гиперактивным мочевым пузырем: Дисс. ... канд. мед. наук. Петрозаводск, 2006.
10. Рыжов Е. А., Цапкин А. Е., Ким Л. А., Ленюшкин А. И. Функциональная субординация нервной системы как пусковой механизм расстройств акта дефекации у детей // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2009. № 4. С. 90–93.
11. Салов П. П. Нейрогенные дисфункции тазовых органов. Новокузнецк, 2002. 592 с.
12. Geeter P., de. Overactive bladder syndrome in children // Urologe A. 2004. Vol. 43. № 7. P. 807–812.

УДК 616.72-002

ИРИНА МИХАЙЛОВНА МАРУСЕНКО

доктор медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет
feva@karelia.ru

ЯНИНА АЛЕКСАНДРОВНА АВДЕЕВА

врач-ревматолог, Республиканская больница г. Петрозаводска
yan-avdeeva@yandex.ru

ВТОРИЧНЫЙ АМИЛОИДОЗ У БОЛЬНЫХ РЕВМАТОИДНЫМ АРТРИТОМ

Статья посвящена проблеме вторичного амилоидоза у больных ревматоидным артритом. Наиболее частым проявлением при данном виде амилоидоза является поражение почек с развитием хронической почечной недостаточности. Для верификации данного диагноза необходимо получение биопсийного материала и окрашивание конго красным с дальнейшим изучением в поляризационном свете.

Ключевые слова: амилоидоз, биопсия, ревматоидный артрит

Амилоидоз представляет собой группу заболеваний, которые характеризуются внеклеточным отложением нерастворимых патологических фибриллярных белков в органах и тканях. Первые описания амилоидоза относятся к XVII веку, когда С. Боне выявил «саговую селезенку» у больного с абсцессом печени, а в 1842 году К. Роки-танский установил связь «сальной болезни» с туберкулезом, сифилисом и риккетсиозами. В 1854 году Р. Вирхов предложил называть внеклеточный материал, обнаруженный им на аутопсии в печени при сальной болезни, ботаническим термином «амилоид» (от греч. *amylon* – крахмал), так как полагал, что он близок по структуре к крахмалу из-за характерной реакции с йодом. В дальнейшем была установлена белковая природа отложений, однако термин «амилоид» сохранился до настоящего времени. В 20-е годы прошлого столетия Бенхольд предложил окрашивать амилоид конго красным, затем был обнаружен эффект двойного лучепреломления в поляризованном свете – изменение кирпично-красной окраски на яблочно-зеленую. В 1959 году Коген и Калкинс с помощью электронной микроскопии установили фибриллярную структуру амилоида [1], [2], [5].

Современная классификация амилоидоза построена на принципе специфичности основного фибриллярного белка амилоида [1], [6], однако в клинической практике амилоидоз разделяют на системные и локальные формы. Среди системных форм выделяют 4 типа амилоидоза (см. таблицу). Вторичный амилоидоз, развивающийся при ревматоидном артрите (РА) и других ревматических заболеваниях, относится к АА-амилоидозу. Предшественниками амилоида в данном случае являются сывороточные острофазовые белки, α -глобулины, продуцируемые клетками разных типов, в основном нейтрофилами и фиб-

робластами. В странах Европы амилоидоз развивается у 10 % больных РА [4], [11], [12].

Характерной особенностью АА-амилоидоза является поражение почек у большинства пациентов (до 98 %), при этом нет полного параллелизма между клиническими проявлениями, величиной протеинурии и массивностью отложений амилоида в клубочках. Среди других органов и систем с большей частотой вовлекается в процесс печень (около 50 % больных), периферическая нервная система и желудочно-кишеч-

Типы системного амилоидоза

Тип	Состав фибрилл		Ассоциированные заболевания
AL	легкие цепи иммуноглобулинов или их фрагменты		первичный амилоидоз, миеломная болезнь, болезнь Вальденстрема, β -клеточные злокачественные лимфомы
AA	острофазовый α -глобулин SAA, близкий по своим свойствам к С-реактивному белку		вторичный амилоидоз при хронических воспалительных и ревматических заболеваниях, опухолях, а также при периодической болезни, синдроме Макла–Уэлса
A β 2M	β 2-микроглобулин		хроническая почечная недостаточность, развивается вследствие резкого снижения выведения указанного белка почками и непроницаемости для него диализных мембран
ATTR	транспортный белок трансферрин	мутантный	семейные наследственные формы (португальская, японская и др.) старческие формы
		нормальный	

ный тракт (ЖКТ). Необходимость поиска вторичного амилоидоза у ревматологических пациентов базируется на выявлении поражения почек и/или других органов в условиях неадекватно контролируемой активности воспаления. Подтверждением диагноза АА-амилоидоза служит иммуногистохимическое исследование биопсийного материала и окрашивание конго красным с дальнейшим изучением в поляризационном свете [3], [7], [8].

Прогноз ревматологического больного при развитии вторичного амилоидоза зависит от активности основного заболевания, при естественном течении у трети больных через 5 лет от момента выявления протеинурии развивается терминальная почечная недостаточность (ХПН). К сожалению, не существует методов лечения вторичного амилоидоза, способных повлиять на прогноз. Наиболее важным подходом к лечению, позволяющим изменить исход болезни и предотвратить фатальные поражения органов, является подавление воспалительной активности артритов и как следствие – снижение продукции сывороточных белков-предшественников [2], [5], [9], [10].

Нами проанализированы случаи вторичного амилоидоза, подтвержденного с помощью окрашивания биопсийного материала конго красным, у больных РА за последние 5 лет. Вторичный амилоидоз был диагностирован у 13 пациентов с достоверным РА, из них 9 женщин, 4 мужчин, средний возраст – $58,9 \pm 9,9$ года. Длительность РА к моменту подтверждения амилоидоза была различной: от 1,5 до 20 лет, при этом среднее значение составило $11,0 \pm 8,6$. Серопозитивный вариант РА определялся у 8 (61,5 %) пациентов, серонегативный – у 5 (38,5 %). У большинства больных (84,6 %) на момент обследования отмечался поздний РА, III рентгенологическая стадия выявлена у 4 (30,8 %) пациентов, IV стадия – у 9 (69,2 %). При оценке степени общей активности РА на момент констатации вторичного амилоидоза у большинства больных определялась III степень активности – 10 (76,9 %), а у оставшихся 3 пациентов (23,1 %) – II степень.

Все исследуемые больные получали терапию нестероидными противовоспалительными препаратами, базисные средства на момент констатации амилоидоза принимали 11 человек (84,6 %). Из базисных противовоспалительных препаратов 8 пациентов получали метотрексат в дозе 10–17,5 мг/нед., 2 – циклофосфамид в дозе 400 мг/нед. и 1 – сульфасалазин в дозе 2 г/сут. в связи с сопутствующей патологией легких (бронхоэктатическая болезнь, ХОБЛ), 2 не получали базисной терапии по причине отсутствия возможности лабораторного контроля токсичности. Следует отметить, что у пациентов с большей длительностью РА с момента установления диагноза проводилась терапия хлорохином (4 случая), и только в последующем (в среднем через 10 лет) была начата базисная терапия метотрексатом. В одном случае (длительность РА – 1,5 года) стартовая

базисная терапия метотрексатом оказалась неэффективной в первые полгода, даже при повышении дозы до 20 мг/нед. проводилась комбинированная терапия с сульфасалазином, а в дальнейшем пациент был переведен на лечение инфликсимабом в связи с сохраняющейся высокой активностью РА. В целом в течение года, предшествовавшего выявлению вторичного амилоидоза, у всех больных отмечена неэффективность проводимой базисной терапии с сохранением высокой активности РА.

Для диагностики вторичного амилоидоза может выполняться биопсия почки, слизистой оболочки десны или прямой кишки. Наиболее достоверно амилоидоз диагностируется при биопсии почки, но данная манипуляция является инвазивной и сопряжена с определенным процентом осложнений. В рутинной клинической практике более простой манипуляцией является биопсия слизистой оболочки ЖКТ при эндоскопическом исследовании. Поскольку больные РА при госпитализации в ревматологическое отделение Республиканской больницы г. Петрозаводска подвергаются фиброгастроскопии не реже 1 раза в год (с целью мониторингирования НПВП-гастропатии), данная диагностическая процедура сопровождается взятием биопсийного материала слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки.

В нашем исследовании диагноз вторичного амилоидоза установлен на основании специфического окрашивания материала слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки в 7 случаях (53,8 %). При этом только у одного больного не было клинических проявлений, позволяющих заподозрить амилоидоз, у 2 пациентов выявлялась стойкая протеинурия, а у 4 – протеинурия и повышение уровня креатинина. Биопсия слизистой оболочки прямой кишки использовалась в диагностике амилоидоза у 2 больных, в одном случае поводом к исследованию послужила протеинурия, в другом – и повышение уровня креатинина. В 4 случаях выполнялась биопсия почки, так как у этих пациентов отмечалась массивная протеинурия нефротического уровня (в 2 случаях в сочетании с повышением уровня креатинина), что потребовало дифференциального диагноза амилоидоза и гломерулонефрита.

При диагностике такого грозного осложнения РА, как вторичный амилоидоз, осуществлялась коррекция проводимой терапии: прекращалось использование глюкокортикоидов как для подавления активности, так и внутрисуставные введения, при развитии ХПН отменялись цитостатические иммунодепрессанты. В одном случае в связи с наступлением терминальной ХПН был начат программный гемодиализ. В течение первых 3 лет с момента диагностики вторичного амилоидоза 5 пациентов умерли из-за прогрессирования ХПН.

Таким образом, АА-амилоидоз представляет собой грозное осложнение РА с частым поражением почек и развитием ХПН. Не существует

эффективной терапии вторичного амилоидоза, позволяющей предотвратить наступление терминальной ХПН. Для более ранней верификации данного осложнения нам представляется целесообразным выполнение биопсии слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки при плановой фиброгастроскопии у всех больных РА,

особенно при сохраняющейся на фоне базисного лечения активности заболевания. Своевременная диагностика вторичного амилоидоза позволит скорректировать лечение пациента с РА, ограничить применение глюкокортикоидов и усилить цитостатическую терапию на этапе сохраненной функции почек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вермель А. Е. Амилоидоз: классификация, клиническая характеристика. Диагностика и лечение // Клиническая медицина. 1997. № 7. С. 12–17.
2. Козловская Л. В. Амилоидоз // Тер. архив. 1998. № 6. С. 62–70.
3. Козловская Л. В., Варшавский В. А., Чегаева Т. В. и др. Амилоидоз: современный взгляд на проблему // Практик. нефрол. 1998. № 2. С. 16–23.
4. Саркисова И. А., Рамеев В. В., Варшавский В. А., Голицина Е. П., Козловская Л. В. Особенности течения АА-амилоидоза у больных ревматоидным артритом // Тер. архив. 2006. № 78(5). С. 31–36.
5. Comenzo R. L. Amyloidosis // Curr Treat Options Oncol. 2006. Vol. 7(3). P. 225–236.
6. Falk R. H., Comenzo R. L., Skinner M. The systematic amyloidosis // N. Engl. J. Med. 1997. Vol. 337. P. 898–909.
7. Hoshii Y. Histopathological diagnosis of amyloidosis // Rinsho Byori. 2006. Vol. 54(5). P. 513–518.
8. Ikeda S. Diagnosis and treatment in systemic amyloidosis // Rinsho Byori. 2008. Vol. 56(2). P. 121–129.
9. Lachmann H. J., Goodman H. J., Gilbertson J. A. et al. Natural history and outcome in systemic AA amyloidosis // N. Engl. J. Med. 2007. Vol. 356(23). P. 2361–2371.
10. Nakamura T., Higashi S., Tomoda K., Tsukano M., Baba S. Efficacy of etanercept in patients with AA amyloidosis secondary to rheumatoid arthritis // Clin. Exp. Rheumatol. 2007. Vol. 25(4). P. 518–522.
11. Ryan J. G., Dorman A. M., O'Connell P. G. AA amyloidosis in psoriatic arthritis // Ir. J. Med. Sci. 2006. P. 175(2). P. 81–82.
12. Simms R. W., Prout M. N., Cohen A. S. The epidemiology of AL and AA amyloidosis // Baillieres Clin Rheumatol. 1994. Vol. 8. P. 627–634.

УДК 616.142

ЭРНЕСТ АНАТОЛЬЕВИЧ ЩЕГЛОВ

кандидат медицинских наук, врач – сердечно-сосудистый хирург хирургического отделения № 1, Больница скорой медицинской помощи г. Петрозаводска

esheglov@onego.ru

НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА ВЕЗИКОВА

доктор медицинских наук, заведующий кафедрой госпитальной терапии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет

vezikov23@mail.ru

ИВАН ПЕТРОВИЧ ДУДАНОВ

доктор медицинских наук, член-корреспондент РАМН, заведующий кафедрой факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет

dudanov@karelia.ru

НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА АЛОНЦЕВА

кандидат медицинских наук, заведующий хирургическим отделением № 1, Больница скорой медицинской помощи г. Петрозаводска

alontseva1967@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ БОЛЬНЫХ С ПОРАЖЕНИЯМИ ВЕН НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ И ОСТЕОАРТРОЗОМ КОЛЕННЫХ СУСТАВОВ

Статья посвящена оценке качества жизни пациентов с сочетанным поражением вен нижних конечностей и остеоартрозом коленных суставов с помощью опросника CIVIQ 2. Проведение комплексного лечения приводит к значительному улучшению показателей качества жизни пациентов.

Ключевые слова: качество жизни, хроническая венозная недостаточность, варикозная болезнь, остеоартроз коленных суставов, опросник CIVIQ-2

Качество жизни – это интегральная характеристика физического, психологического, эмоционального и социального функционирования человека, основанная на его субъективном восприятии [6]. При ее оценке используются следующие критерии, разработанные ВОЗ: физический, психологический уровни самостоятельности, общественная жизнь, окружающая среда, духовность [7], [14].

Оценка качества жизни на современном этапе развития системы здравоохранения занимает все более прочное место в медицине. Это отражает, с одной стороны, появление новых современных медицинских технологий, которые хоть прямо и не влияют на продолжительность жизни конкретного человека, но существенно улучшают ее качество. С другой стороны, о повышении активности больного как личности говорит увеличение участия пациента в выборе методов диагностики и лечения [9], [10], [11].

Для оценки качества жизни пациентов широко используются как общие, так и специфические опросники [19]. Общие опросники отличаются тем, что могут быть применены при любом, самом патологическом состоянии человеческого организма, они позволяют оценивать качество жизни вне связи с данным заболеванием, но

при этом не оценивают определенные аспекты, присущие только конкретной патологии. К наиболее широко распространенным общим опросникам относят появившиеся в 90-е годы прошлого века EuroQol Index (EQ-5D) и MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36) [20].

Общие опросники SF-36, NHP, EuroQol, широко используемые для оценки качества жизни пациентов, имеют целый ряд недостатков. Они недостаточно отражают некоторые симптомы, присутствующие при хронической венозной недостаточности (ХВН), не оценивают проблему длительного нахождения пациента в вертикальном положении [5]. Опросник EQ-5D – самый простой, содержащий наименьшее количество вопросов и не вызывающий затруднения в заполнении у больных, однако он уступает другим в информативности [2], [4]. Специфическим опросником хронической венозной недостаточности по праву признан CIVIQ-2. Он предложен для этой цели, так как лучше общих опросников отражает некоторые симптомы, присущие ХВН, позволяет оценить проблему длительного нахождения пациента в вертикальном положении, сосредоточен на связи физического состояния нижних конечностей и психологического статуса больного [15], [21].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей работы было оценить качество жизни пациентов, имеющих хроническую венозную недостаточность в сочетании с остеоартрозом коленных суставов, с использованием опросника CIVIQ-2.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка качества жизни у пациентов с ХВН и проявлениями остеоартроза коленных суставов с использованием опросника CIVIQ-2 проводилась у 114 пациентов, находившихся на лечении в хирургическом отделении больницы скорой медицинской помощи и хирургическом отделении поликлиники № 4 г. Петрозаводска [16], [18]. Все пациенты, включенные в исследование, имели проявления ХВН в стадии 1–4 по классификации СЕАР. Пациенты удовлетворяли унифицированным клинико-рентгенологическим критериям остеоартроза (Л. И. Беневоленской, 1993 год). Критериями исключения явились нарушения артериального кровотока хронической артериальной недостаточностью 2 А стадии и выше, окклюзией более чем одной артерии голени, а также 5-й и 6-й классы хронической венозной недостаточности по СЕАР [14], [8], [18]. Возраст пациентов, участвовавших в исследовании, составил от 40 до 72 лет, средний возраст – 54 ± 7 лет. Среди пациентов преобладали женщины (77 (67,5 %)).

Все пациенты были разбиты на 2 группы в зависимости от назначенного лечения. В первую группу вошли пациенты с варикозной болезнью, которым выполнялось плановое хирургическое лечение (58 человек (50,8 %)). Объем хирургического лечения по методике Г. Д. Константиновой [12] состоял из кроссэктомии, парциального или тотального (в зависимости от протяженности клапанной недостаточности ствола большой подкожной вены) стриппинга и надфасциальной перевязки несостоятельных перфорантных вен. В случае наличия выраженных конгломератов узлов в бассейне большой и малой подкожных вен проводилось их удаление из отдельных разрезов. Во вторую группу вошли пациенты, получавшие консервативную терапию по поводу различных проявлений хронической венозной недостаточности, связанных с поражением глубоких и поверхностных вен нижних конечностей (56 человек (49,2 %)). Консервативная терапия включала в себя обязательную эластическую компрессию, класс которой зависел от заболевания и проявлений хронической венозной недостаточности, рекомендации по режиму и образу жизни, курсовой прием венотоников [1], [8]. Консервативную терапию пациенты первой группы получали в послеоперационном периоде в том же объеме, что и пациенты второй группы.

Кроме того, все пациенты по рекомендации специалиста (ортопеда или ревматолога) получали нестероидные противовоспалительные

препараты, болезнь-модифицирующие препараты (хондроитин сульфат, глюкозамин сульфат). Пациентам с проявлениями ожирения давались рекомендации по снижению веса.

Заполнение опросника проводилось при включении в исследование через 1, 3, 6 и 12 месяцев после его начала. Результаты сравнивались с данными контрольной группы (здоровые пациенты).

Опросник CIVIQ-2 состоит из 20 вопросов, которые сгруппированы по 4 параметрам.

1. Физический статус, который отражает физическую активность пациента: выносливость, двигательную активность.
2. Болевой статус, являющийся отражением болевых ощущений, испытываемых пациентом.
3. Психологический статус, определяющий наличие и выраженность психологического комфорта и эмоционального напряжения.
4. Социальный статус, указывающий на степень социальной адаптации пациента в обществе.

Каждый пункт, включенный в опросник, состоит из 2 отдельных частей. Первая часть – количественная, указывающая на наличие или отсутствие данного симптома или состояния. Вторая часть – качественная, которая отражает степень обеспокоенности пациента данным конкретным признаком. Например, вопрос 1а: «В последние 4 недели были ли у Вас боли в области лодыжки и икры?», вопрос 1б: «Какое значение эта боль имеет для Вашей повседневной жизни?»

Оценка каждого пункта дается по 5-балльной шкале от 1 (отсутствие признака) до 5 (его крайняя выраженность). Пациенту предлагается дать оценку данному состоянию либо привести ответ, наиболее близкий к правильному ответу. Подсчет результатов по каждому опроснику производится по формуле:

$$X = ((A - B) / (C - B)) \cdot 100,$$

где X – индекс качества жизни конкретного пациента, A – сумма баллов, полученных у конкретного пациента, B – теоретически минимальная сумма баллов, C – теоретически максимальная сумма баллов.

Эта формула может быть использована для подсчета показателя качества жизни конкретного пациента или целой группы пациентов. Расчет можно выполнить по всему опроснику или по каждому из 4 параметров отдельно. У абсолютно здорового человека $X = 0$. Таким образом, чем меньше величина индекса, получаемого по итогам расчетов, тем выше качество жизни исследуемого пациента. Кроме того, при подсчете возможно использование непосредственной суммы баллов, полученной у каждого пациента. В данной ситуации у абсолютно здорового человека сумма баллов равняется 40, максимально возможная сумма баллов составляет 200.

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью процессора Pentium с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel, Statistica 5.0. Определялись

средние величины $[M \pm m]$, достоверность средних величин по критерию Стьюдента (t), критериям Манна – Уитни для малых выборок [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При включении в исследование те или иные проблемы со здоровьем отметили все пациенты. Результаты опроса представлены в табл. 1.

Нами было признано некорректным использование в анализе ответов на вопрос № 11, который связывает проблемы нижних конечностей и занятия спортом, тяжелые физические нагрузки. Подавляющее большинство наших пациентов не занимаются спортом систематически, поэтому они поставили прочерк в ответе на данный вопрос.

При сравнении двух групп пациентов были получены следующие данные. При расчете с использованием вышеупомянутой формулы в первой группе показатель качества жизни равнялся 38,31 балла, во второй группе – 45,3 балла. При оценке данного показателя у группы здоровых пациентов, не имеющих заболеваний нижних конечностей на момент опроса, получен результат 23 балла. При расчете средней суммы баллов без использования формулы в первой группе среднее значение качества жизни равнялось 96,22 балла, во второй группе – 106,86 балла.

При анализе полученных данных для групп пациентов обращает на себя внимание, что наибольшее количество проблем пациенты первой группы отмечали при подъеме по лестнице (вопрос № 5) и вставании на колени (вопрос № 6). Эти же проблемы наиболее часто мешали пациентам в их жизни. Также пациенты стеснялись обнажать ноги (вопрос № 16), чувствовали себя

скованно (вопрос № 18) и отмечали трудности с движениями по утрам (вопрос № 19).

Пациенты второй группы, помимо указанных выше ситуаций, отмечали, что у них нарушается ночной сон из-за болей в ногах и это оказывает значительное влияние на качество жизни (вопрос № 3), им трудно долго стоять (вопрос № 4). Также они описывали необходимость принятия вынужденной позы (вытягивать ноги и т. п.) (вопрос № 15).

В целом в обеих группах пациентов наибольшее количество проблем отмечено в однотипных ситуациях.

При анализе данных, полученных через месяц после включения пациентов в исследование, отмечены следующие результаты. В первой группе пациентов (хирургическое лечение) показатель качества жизни не только не уменьшился, но, наоборот, увеличился. Если до операции он равнялся 38,31 балла, то через месяц составлял 53,16 балла. Практически все пациенты отметили наличие болевых ощущений разной степени выраженности в икре или лодыжке (вопрос № 1), эти проблемы чаще ограничивали их в повседневной жизни (вопрос № 2) и чаще нарушали ночной сон (вопрос № 3). Увеличилось количество пациентов, принимающих вынужденные позы (вопрос № 15), практически все пациенты отметили, что стесняются обнажать ноги. На наш взгляд, подобная ситуация связана с течением раннего послеоперационного периода и не отражает общей динамики течения патологического процесса. Во второй группе пациентов (консервативное лечение), напротив, отмечено незначительное уменьшение расчетного показателя до 43,92 балла, что знаменует начало положительной динамики в ходе лечения. Однако статистически данные изменения были недостоверны.

Таблица 1

Характеристика состояния здоровья пациентов при включении в исследование

Вопрос	Количественная часть										Качественная часть									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4	2	28	19	19	23	5	8	2	4	5	3	32	25	16	23	2	4	3	3
2	7	3	25	16	22	25	2	7	2	5	8	4	24	15	23	32	2	2	1	3
3	8	5	32	16	14	19	3	9	1	7	6	2	29	20	19	27	3	3	1	4
4	3	3	12	9	35	32	5	7	3	5	3	3	20	12	24	27	7	9	4	5
5	2	2	11	9	29	23	12	16	4	6	2	2	9	8	35	30	8	8	4	8
6	2	2	5	5	32	28	14	14	5	7	2	1	7	5	36	30	9	11	4	9
7	6	3	19	14	23	23	9	11	1	5	7	3	19	12	25	32	7	8	0	1
8	5	4	19	14	25	29	7	5	2	4	9	7	23	20	20	23	4	5	2	1
9	15	8	24	11	14	29	3	4	2	4	16	9	20	12	15	28	3	4	4	3
10	14	9	27	19	11	19	4	4	2	5	14	11	28	20	12	20	2	3	2	2
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	14	5	23	14	15	29	4	5	2	3	16	8	25	20	16	23	0	3	1	2
13	7	5	19	15	24	27	5	5	2	4	8	3	16	16	27	29	5	5	2	3
14	12	9	28	19	15	25	2	1	1	2	14	10	27	22	14	19	2	3	1	2
15	3	1	14	8	27	31	9	9	5	7	5	1	15	8	28	30	5	10	5	7
16	4	4	12	10	30	29	7	8	5	5	4	5	10	10	31	30	8	7	5	4
17	11	9	23	19	16	21	7	4	1	3	11	12	24	22	16	15	6	6	1	1
18	9	2	19	15	25	27	2	7	3	5	9	4	21	12	25	31	2	5	1	4
19	8	3	11	11	27	25	7	10	5	7	7	3	10	12	29	27	9	9	3	5
20	19	15	29	23	8	15	2	1	0	2	20	16	29	24	8	14	1	1	0	1

Примечание. В столбцах указано число больных; левый столбец – 1-я группа, правый столбец – 2-я группа.

Через 3, 6 и 12 месяцев с начала исследования были получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2

Показатели качества жизни пациентов в динамике в течение года после начала лечения

Группа	0 месяцев	1 месяц	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев
1	38,31	53,16	35,16	32,19*	27,1*
2	45,3	43,92	39,4	33,78*	30,6*

Примечание. Знаком * отмечены достоверно значимые различия.

Обращает на себя внимание, что начиная с 3-го месяца после начала консервативного лечения или перенесенной операции отмечается значительное снижение показателя качества жизни, а с 6-го месяца и далее данные изменения становятся статистически достоверными. Эта динамика указывает на значительное улучшение качества

жизни пациентов и отражает улучшение клинической картины в ходе проводимого лечения.

Отметим, что данные изменения были статистически достоверными не только в группе пациентов, перенесших хирургическое вмешательство, но и у пациентов, получавших консервативную терапию.

ВЫВОДЫ

1. По данным исследования, все больные, имеющие проявления ХВН в сочетании с остеоартрозом коленных суставов, имеют выраженное снижение качества жизни.
2. На протяжении первого года с начала систематической коррекции нарушений венозного оттока отмечено выраженное улучшение показателей качества жизни пациентов.
3. Необходимо проведение дальнейших исследований, которые позволят в полной мере оценить показатели качества жизни пациентов, в том числе с помощью других опросников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Л. И. Эпидемиологические основы остеоартроза: методология, распространенность, факторы риска в этнически неоднородных группах населения России и фармакотерапия: Дисс. ... д-ра мед. наук. М., 2000.
2. Белова А. Н., Буйлова Т. В., Булюбаш И. Д. и др. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации. Руководство для врачей и научных работников / Под ред. А. Н. Беловой, О. Н. Щепетовой. М.: Антидор, 2002. 440 с.
3. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 459 с.
4. Голованова О. В. Оценка результатов лечения хронической венозной недостаточности нижних конечностей с точки зрения качества жизни пациентов: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2000. 28 с.
5. Горина С. М. Оценка качества жизни у пациентов с варикозной болезнью нижних конечностей после хирургического лечения: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2005. 24 с.
6. Зайцев В. М., Лифляндский В. Г., Маринкин В. И. Прикладная медицинская статистика. СПб.: Фолиант, 2003. 432 с.
7. Калью П. И. Сущностная характеристика понятия «здоровья» и некоторые вопросы перестройки здравоохранения. Научный обзор. М.: ВНИИМИ, 1988. 220 с.
8. Лечение хронических заболеваний вен ног: Доклад международной согласительной комиссии // *Phlebology*. 1999. Vol. 14. Supp 1. S. 128.
9. Либис Р. А. Качество жизни больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями: Дисс. ... д-ра мед. наук. Оренбург, 1998.
10. Новик Н. А., Ионова Т. И. Руководство по исследованию качества жизни в медицине. М.: Олма-Пресс, 2002. 320 с.
11. Новик А. А., Ионова Т. И., Кайнд П. Концепция исследования качества жизни в медицине. СПб.: Элби, 1999. 140 с.
12. Практикум по лечению варикозной болезни / Под ред. Г. Д. Константиновой. М.: Профиль, 2006. 192 с.
13. Сабельников В. В., Шулепова Е. К. Варикозная болезнь нижних конечностей. Современный взгляд на проблему // *Мир медицины*. 2001. № 3–4. С. 7–11.
14. Семернин Е. Н., Шляхто Е. В., Козлова С. Н., Мирошенко П. В. Качество жизни, связанное со здоровьем: теория, методы и практика // *Качественная клиническая практика*. 2001. № 2. С. 48–52.
15. Тихонова О. А., Байдо В. П., Байдо С. В. Методологические аспекты изучения оценки КЖ хирургических больных // *Материалы VII итоговой науч. конф. ИМО НовГУ. Новгород, 2000. Т. 2. С. 183–190.*
16. Щеглов Э. А., Алонцева Н. Н., Карцова И. В. и др. Оценка качества жизни у пациентов с сочетанными поражениями венозной системы нижних конечностей и опорно-двигательного аппарата // *Флебология*. Т. 4. № 2. 2010. С. 106.
17. Щеглов Э. А., Дуданов И. П. Оценка состояния венозной системы нижних конечностей у больных с остеоартрозом коленных суставов // *Сердечно-сосудистые заболевания. Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН*. 2009. Т. 10. № 6.
18. Яблоков Е. Г., Кириенко А. И., Богачев В. Ю. Хроническая венозная недостаточность. М.: Берг, 1999. 126 с.
19. Anderson R. T., Aaronson N. K., Wilkin D. Critical review of the international assessments of health related quality of life // *Qual. Life Res.* 1993. Vol. 2. P. 369–395.
20. Lamping D. L., Schroter Kurz X. et al. Evaluation of outcomes in chronic venous disorders of the leg: development of a scientifically rigorous, patient reported measure of symptoms and quality of life // *J. Vascular surgery*. 2003. Vol. 37. № 2. P. 410–419.
21. Launois R., Reboul-Marty J., Henry B. Construction and validation of a quality of life questionnaire in Chronic Lower Limb Venous Insufficiency (CIVIQ) // *Quality of life research*. 1996. Vol. 5. P. 539–554.

УДК 630.23

ИННА ВЛАДИМИРОВНА МОРОЗОВА

преподаватель кафедры лесного хозяйства лесинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет

*miv@psu.karelia.ru***ОЛЬГА ИВАНОВНА ГАВРИЛОВА**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства лесинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет

ogavril@petrsu.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА КУЛЬТУР СОСНЫ В ТЕЧЕНИЕ ПЕРВЫХ ПЯТИ ЛЕТ ПОСЛЕ ПОСЕВА СЕМЯН И ПОСАДКИ СЕЯНЦЕВ НА ВЫРУБКАХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

В статье рассматриваются закономерности роста культур сосны, созданных посевом семян и посадкой сеянцев с открытой и закрытой корневой системой на вырубке из-под сосняка черничного. Для относительно богатых типов условий местопроизрастания обосновано преимущество культур, созданных путем посадки сеянцев.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесные культуры, рубка

Интенсивная эксплуатация лесов на территории Республики Карелия часто приводит к нежелательной смене породного состава. Это вызывает необходимость создания лесных культур из хозяйственно ценных хвойных пород. Искусственным лесоразведением охвачена почти половина площадей рубок.

Значительная часть (60–70 %) всех лесных культур в Карелии создается в черничных и близких к ним типах условий произрастания. Черничные типы леса, занимая 43 % площади, отличаются относительно высокой производительностью (III класс бонитета) [6]. На территории республики применяются посев и посадка культур сосны обыкновенной.

В настоящее время технология создания культур посадочным материалом с закрытой корневой системой на рубках начинает получать широкое распространение на северо-западе таежной зоны России. В Карелии 83 % культур сосны создается сеянцами с закрытой корневой системой [6]. Однако лесоводственная оценка эффективности применения такого посадочного материала на зрелых рубках в черничном типе леса с учетом почвенно-климатических и экономических условий региона не проводилась.

В связи с этим целью исследования является изучение закономерностей возрастной динамики роста и продуктивности культур сосны в течение первых пяти лет вегетации при разных методах их создания в условиях сукцессий растительности на рубках из-под сосняка черничного в Южной Карелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования закономерностей роста культур были созданы культуры сосны посадоч-

ным материалом с открытой и закрытой корневой системой, а также посевом по подготовленной почве. Для обработки почвы использовался ПДН-1. На рубке были высажены двухлетние сеянцы с открытой корневой системой и однолетние сеянцы с закрытой корневой системой. Исследования проводили в течение 5 лет.

Показатели роста лесных культур сосны определяли по общепринятым методикам [3], [2]. После окончания вегетационного периода выкапывались по 100 штук растений каждого варианта. У этих растений определялись высота стволика, длина главного корня, диаметр у корневой шейки, протяженность боковых корней 1–4 порядков, ширина, длина и площадь хвои. При определении сезонного содержания влаги использовался весовой метод. Для этого 20 штук растений одного варианта, разделенные на части (корни, стволики, хвоя), взвешивались в свежем состоянии. Образцы высушивались до постоянного веса при температуре 105 °С.

В конце каждого сезона вегетации проводилась полная инвентаризация культур для оценки приживаемости в различных вариантах создания лесных культур. Приживаемость и сохранность культур определялись по применяемым в современных исследованиях методикам [5], [4]. Полученные данные обработаны методами элементарной статистики [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования установлено, что максимальная приживаемость проявляется у контейнеризированных сеянцев – 100 %, сохранность – от 99 до 94 %. Приживаемость у сеянцев с открытой корневой системой составила 85 %. Возможно, это связано с повреждением корне-

вой системы при транспортировке и посадке. В последующие годы сохранность семян составляла от 97 до 90 %. Следует отметить, что сохранность является одним из показателей успешности их создания. Культуры в посевах имели разные показатели сохранности в конце 1-го года жизни. В целом сохранность посевов на 5-й год составила от 95 до 10 %.

Выявлено, что у лесных культур при посадке семян с открытой и закрытой корневыми системами средняя высота стволика выше, чем у растений, выращенных посевом. Значительный рост культур в посевах отмечен на 5-й год, в посадках – на 4-й и 5-й годы (см. рисунок). Высокая приживаемость и интенсивный рост семян с закрытой корневой системой в течение 5 лет обусловлены наличием кома субстрата и хорошим развитием корневой системы, которая не повреждается при посадке. У семян с открытой корневой системой отмечаются хорошая приживаемость и существенное увеличение высоты стволика на 4-й год наблюдений в связи с периодом регенерации корневой системы.

Для устойчивого формирования культур растений необходим хорошо развитый ассимиляционный аппарат. В опытных культурах по вариантам их создания масса хвои нарастала поразному. Так, в посевных культурах 1-го года масса хвои составила $0,97 \pm 0,02$ г, семян с открытой корневой системой – $6,03 \pm 0,07$ г, контейнеризированных семян – $4,89 \pm 0,05$ г. Начиная со 2-го года наблюдений масса хвои у контейнеризированных семян превышает массу хвои других вариантов. Точность определения составляет от ± 1 до ± 4 %.

Накопление массы стволиков показывает, насколько успешно происходит рост растений в высоту и по диаметру. Выявлено, что в 1-й год после посадки преобладала масса стволиков

у культур, созданных из семян с открытой корневой системой ($1,22 \pm 0,05$ г). Такие семена высаживались на вырубке в 2-летнем возрасте, поэтому этот показатель у них выше.

Масса стволиков у посевных культур имеет минимальные значения ($0,08 \pm 0,002$ г). У культур из контейнеризированных семян в 1-й год после посадки масса стволиков небольшая ($1,14 \pm 0,03$ г). В последующие вегетационные периоды этот показатель значительно превышает массу стволиков других вариантов создания культур. Так, у посевных культур на 4-й год этот показатель составил $2,02 \pm 0,08$ г, у семян с открытой корневой системой – $39,42 \pm 1,10$ г, у контейнеризированных семян – $124,98 \pm 5,30$ г. В целом масса надземной части лесных культур сосны в большей степени определяется массой хвои, чем массой стволика.

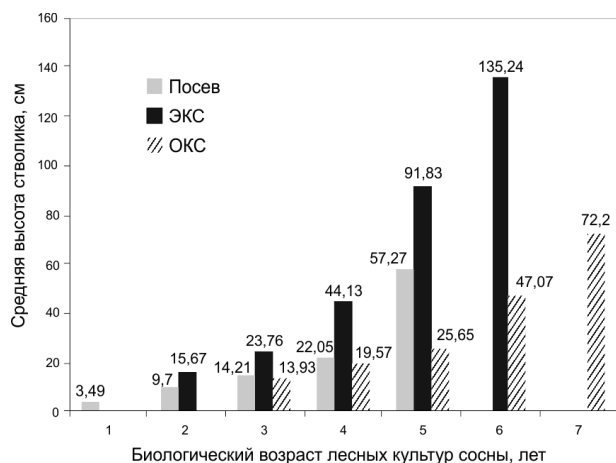
Масса подземной части культур сосны, созданных разными методами, в течение 4 лет изменялась аналогично массе хвои и стволиков. У посевов эта масса изменялась от $0,19 \pm 0,002$ г до $2,78 \pm 0,04$ г, у семян с открытой корневой системой – от $1,39 \pm 0,06$ г до $11,75 \pm 0,41$ г, у контейнеризированных семян – от $1,37 \pm 0,04$ г до $30,16 \pm 0,91$ г.

К концу 4-го года роста общая биомасса у культур из контейнеризированных семян была максимальной относительно других вариантов их создания.

Основные показатели роста 5-летних культур сосны, созданных разными методами, представлены в табл. 1.

Статистическое сравнение средней высоты и диаметров по вариантам опытов культур 5-летнего возраста представлено в табл. 2.

Во всех случаях различия оказались достоверными при строгом статистическом суждении ($t_p > t_{01} = 2,57$).



Ход роста по высоте стволика культур сосны, созданных разными методами

Таблица 1
Основные показатели роста 5-летних лесных культур сосны, созданных разными методами

Метод создания лесных культур	Высота, см	Диаметр корневой шейки, мм
посев	$57,27 \pm 0,64$	$13,25 \pm 0,13$
ОКС	$72,20 \pm 0,75$	$20,36 \pm 0,31$
ЗКС	$135,24 \pm 1,52$	$30,91 \pm 0,66$

Таблица 2
Статистическое сравнение средней высоты и диаметров по вариантам опытов культур 5-летнего возраста

Варианты опыта	Высота		Диаметр	
	$t_{расч}$	$t_{факт}$	$t_{расч}$	$t_{факт}$
Посев-ОКС	15,39	2,57	22,93	2,57
Посев-ЗКС	47,54	2,57	26,75	2,57
ОКС-ЗКС	37,30	2,57	14,65	2,57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований выявлены закономерности роста культур сосны в течение первых пяти лет после посева семян и посадки сеянцев на вырубках из-под сосняков черничных.

Использование сеянцев с закрытой корневой системой по обработанной почве показало их преимущество в росте в первые 5 лет после посадки. Такие сеянцы не проходят периода регенерации корневых систем на месте посадки, отличаются высокой приживаемостью, раньше

начинают активный рост и развитие. Это позволяет уменьшить возраст перевода лесных культур сосны в покрытую лесом площадь.

Применение посадочного материала с открытой корневой системой при соблюдении требований к транспортировке и посадке позволяет получить положительный результат при лесовосстановлении.

Успешность роста посевов сосны в условиях вырубок из-под сосняков черничных зависит от своевременных агротехнических уходов и удаления части растений в одном посевном месте для устранения конкуренции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю. Ю., Хлюстов В. К. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ. М., 2001. 260 с.
2. Колесников В. А. Методы изучения корневой системы древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 152 с.
3. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 100 с.
4. Мордась А. А., Раевский Б. В. Всхожесть семян и рост сосны скрученной в Карелии // Лесоведение. 1992. № 1. С. 89–94.
5. Родин А. Р., Мерзленко М. Д. Методические указания к УИРС при прохождении учебной и производственной практик по лесным культурам. М.: Изд-во Московского лесотехн. ин-та, 1978. 57 с.
6. Соколов А. И. Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 215 с.

УДК 338.43

ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА КОНДРАТЮК

кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры зоотехнии, товароведения и экспертизы продовольственных товаров агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет
jelenkon@mail.ru

СТРУКТУРА РЫНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

В работе исследованы источники формирования продовольственных ресурсов на основе сельскохозяйственного производства в Республике Карелия. В динамике представлены показатели производства, ввоза, потребления, изменения цен, экономической эффективности производства картофеля, овощей, мяса, молока, яиц, структура производимой сельскохозяйственной продукции в хозяйствах различных категорий.

Ключевые слова: продовольственные ресурсы, структура баланса, доля ввоза, производства, индекс цен, эффективность

Объективной основой современного состояния сельского хозяйства Карелии являются неоднозначные и противоречивые последствия экономического реформирования страны с начала 1990-х годов. Составной частью экономических преобразований России стала аграрная реформа, предполагающая отмену монополии государства на землю и реорганизацию основных организационных форм советского сельскохозяйственного производства – колхозов и совхозов. В результате произошли значительные изменения как в структуре, так и в количестве производимой продукции. Производство сельскохозяйственной продукции в республике осуществляется сельскохозяйственными организациями, хозяйствами населения и крестьянскими (фермерскими) хозяйствами. В объеме производства продукции растениеводства преобладают хозяйства населения: 79,3 % картофеля и 67,3 % овощей в 2008 году. В общем производстве продукции животноводства основными производителями являются сельскохозяйственные организации: 73,4 % скота и птицы в убойном весе, 79,1 % молока, 87,7 % яиц. Доля крестьянских (фермерских) хозяйств, индивидуальных предпринимателей в структуре продукции сельского хозяйства республики незначительна – 3,2 % в 2008 году.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, с 1990 года объем

производства сельскохозяйственной продукции значительно сокращается [1]. Производство основных товарных видов продукции с 1990 года представлено в таблице.

Произошло значительное сокращение производства продукции животноводства: в 1990 году в республике было произведено 176,2 тыс. т молока, 24,7 тыс. т мяса, 260,7 млн штук яиц, в 2008 году – 71,2 тыс. т молока, 8 тыс. т мяса и 56,7 млн штук яиц. Сократилось поголовье скота и к уровню 1990 года в 2008 году составило: 25,6 % крупного рогатого скота, 30 % коров, 10,6 % свиней, 27,4 % птицы.

Показатели внутреннего производства, ввоза, потребления картофеля представлены в динамике на рис. 1.

С 2001 года в республике наблюдается уменьшение производства картофеля: в 2008 году было произведено 78,3 тыс. т, что составляет 81,4 % уровня предыдущего года, при этом ввоз в 2007 году в три раза превысил уровень 2006 года и составил 3,9 тыс. т, в 2008 году – 4,3 тыс. т. Посевные площади картофеля в хозяйствах всех категорий сокращаются, в 2008 году они занимали 5,9 тыс. гектаров, что составляет 55 % уровня 2000 года. Потребление картофеля в указанный период существенно не менялось и в 2008 году составило 101 кг в год на душу населения (в среднем по Российской Федерации – 111 кг). Индекс потребительских цен в 2008 году – 119,9 %.

Производство основных товарных видов сельскохозяйственной продукции во всех категориях хозяйств в Республике Карелия в 1990–2008 годах, тыс. т

Вид продукции	Год									
	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Картофель	106,1	108,3	151,5	140,6	135,5	114,8	124,2	129,6	96,2	78,3
Овощи	17,3	30,2	32,1	27,1	34,4	29,8	26	23,4	23,6	23,4
Скот и птица на убой (в убойном весе)	24,7	6,4	6,7	6,5	6,7	7,2	6,2	6,9	7,8	8,0
Молоко	176,2	85,7	81,2	81,7	78,3	70,8	70,5	73,2	74,7	71,2
Яйца, млн шт.	260,7	140,2	143,1	131,3	140,9	66,3	47,1	44,7	46,9	56,7

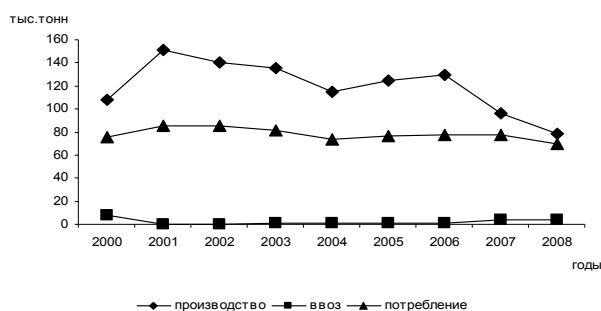


Рис. 1. Динамика производства, ввоза и потребления картофеля в Республике Карелия

от уровня прошлого года. Производство картофеля в сельскохозяйственных организациях в 2007 году было убыточно, в 2008 году уровень рентабельности равнялся 7,1 %.

В 2008 году производство составило 23,4 тыс. т, ввоз в республику – 37,6 тыс. т. Спрос на овощную продукцию за счет собственного производства удовлетворяется немного более чем на треть. Индекс потребительских цен в 2008 году по сравнению с 2007-м – 92,8 %, в 2007-м – 129,6 %, потребление овощей на душу населения в 2008 году составило 84 кг (в среднем по РФ – 100 кг). В 2008 году убыточность овощей, реализованных сельскохозяйственными организациями, составила 9,6 %. Вероятно, и в дальнейшем доля ввозимых овощей будет увеличиваться: растущее потребление не может быть удовлетворено за счет собственного производства.

Производство овощей в хозяйствах всех категорий после 2003 года сокращается, а растущее потребление обеспечивает ввоз (рис. 2)

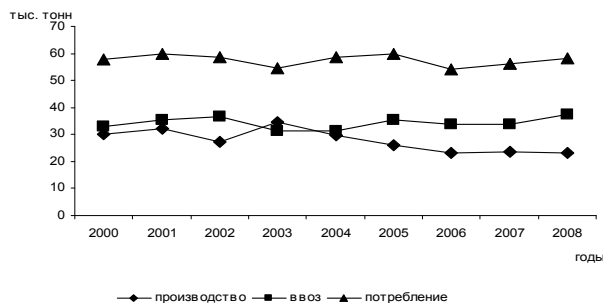


Рис. 2. Динамика производства, ввоза и потребления овощей в Республике Карелия

Производство мяса в республике незначительно: в 2008 году в хозяйствах всех категорий оно было равно 8 тыс. т (рис. 3).

В расчете на душу населения потребление мяса в период с 2000 по 2008 год стабильно увеличивалось и в 2008 году составило 66 кг в год. Растущий спрос обеспечивается преимущественно за счет ввоза: в 2008 году в республику поступило 40,9 тыс. т мяса, доля ввозимой продукции составила 80,6 %. Производство мяса в республике убыточно даже с учетом субсидий.

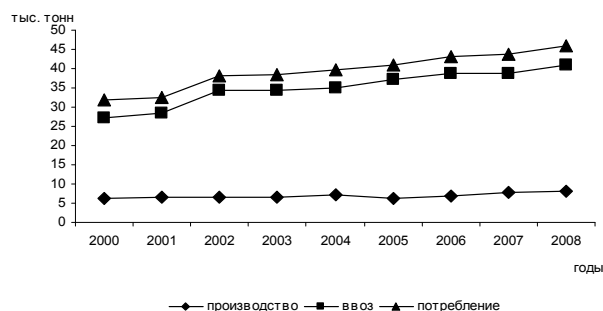


Рис. 3. Динамика производства, ввоза и потребления мяса в Республике Карелия

В производстве молока в республике в 2006 и 2007 годах наметилась тенденция к увеличению: 73,2 и 74,7 тыс. т соответственно, но в 2008 году было произведено 71,2 тыс. т (рис. 4).

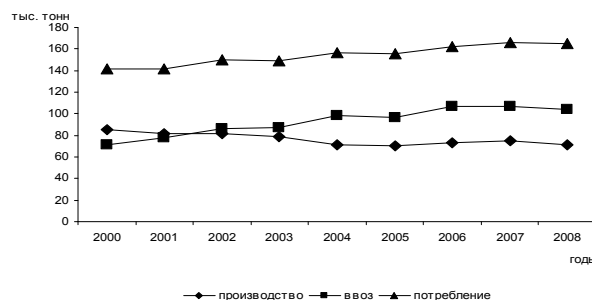


Рис. 4. Динамика производства, ввоза и потребления молока в Республике Карелия

Потребление молока и молочных продуктов в пересчете на молоко в период с 2002 по 2008 год ежегодно увеличивалось и в 2008 году составило 239 кг на душу населения (в среднем по РФ – 243 кг). Ввоз данного продукта также имеет тенденцию к росту: за указанный период он возрос с 87,1 до 103,6 тыс. т. В ресурсах молока и молочных продуктов доля ввезенной продукции в 2008 году составила 56,7 %, спрос удовлетворяется местными производителями менее чем на половину. Индекс потребительских цен в 2008 году – 111,2 %. поголовье крупного рогатого скота в республике сокращается: на начало 2008 года – 32,5 тыс. голов, что составляет 57 % уровня 2000 года.

В производстве яиц после 2003 года произошли значительные изменения (рис. 5).

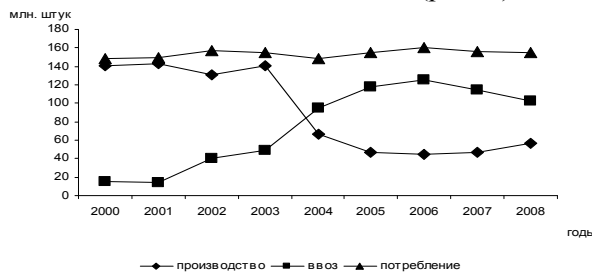


Рис. 5. Динамика производства, ввоза и потребления яиц в Республике Карелия

После 2003 года производство яиц сократилось более чем в два раза – с 140,9 до 66,3 млн штук в 2004 году. Это связано с тем, что закрылись три крупнейшие птицефабрики – Сегежская, Суоярвская, Сунская. Спрос на яйца был восполнен ввозимой продукцией, и индекс потребительских цен в 2004 году по отношению к 2003-му был равен 148,8 %. В дальнейшем количество ввозимой продукции увеличивалось, в 2008 году оно составило 102,5 млн штук. В части собственного производства с 2006 года наблюдается стабилизация, в 2008 году произведено 56,7 млн штук яиц. Ситуация на рынке яиц в республике наглядно демонстрирует, что при сокращении собственного производства и роста ввоза имеет место значительный рост цен на данный продукт, а это является весьма нежела-

тельным как для производителей, так и для всех потребителей, столкнувшихся со значительным подорожанием важнейшего продукта питания.

Таким образом, с 2000 года формирование продовольственных ресурсов в республике осуществляется преимущественно за счет ввозимой продукции. За этот период число сельскохозяйственных организаций сократилось с 60 до 16 единиц, среднегодовая численность работников – с 9,5 до 3,4 тыс. человек, сельскохозяйственные угодья – с 92,6 до 39,4 тыс. гектаров. Сумма субсидий из бюджетов всех уровней возросла с 106,9 до 268,5 млн рублей. В 2008 году убыток от реализации продукции сельскохозяйственными организациями составил 231 млн рублей, рентабельность продукции сельского хозяйства с учетом субсидий – 2,7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство Республики Карелия: Статистический сборник / Карелиястат. Петрозаводск, 2009. 90 с.
2. О состоянии продовольственного рынка в Республике Карелия: Доклад / Карелиястат. Петрозаводск, 2009. 22 с.

УДК 636.02

СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА НЕФЕДОВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и разведения животных факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева
nefedova-s-a@mail.ru

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ МИОКАРДА И МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ Ca^{2+} -АНТАГОНИСТОМ НА КОМПЕНСАТОРНУЮ АДАПТИВНОСТЬ ТЕЛЯТ К ГИПОТИРЕОЗУ

Независимо от тиреоидного статуса, без использования гормональных препаратов при введении Ca^{2+} -регулирующего реагента возможно установить необходимую активность ферментов для нормализации развития кардиомиоцитов. В результате своевременной регуляции компенсаторной адаптивности телят к гипотиреозу оптимизируются резистентность к маститу и лейкозу.

Ключевые слова: гипотиреоз, Ca^{2+} -антагонист, миокард, резистентность

Целенаправленное совершенствование племенных и продуктивных качеств молочного скота в нашей стране и за рубежом позволило создать высокий генетический потенциал продуктивности и резистентности. Для его полной реализации в условиях интенсификации отрасли молочного скотоводства важное значение имеет создание технологий, стимулирующих формирование и проявление высокого уровня адаптивных качеств организма по средствам регуляции компенсаторно-приспособительных процессов.

Адаптационные особенности любой породы в условиях интенсивного животноводства во многом определяются молекулярными компенсаторными механизмами, обеспечивающими оптимальное развитие и функциональную способность различных органов. Для обеспечения высоких надоев необходимо разработать механизм воздействия на компенсаторно-приспособительные реакции миокарда, что позволит, не используя гормональные препараты, обеспечить оптимальную работу вымени при гипотиреозе.

Ряд регионов Центрального федерального округа, в том числе Рязанская область, входят в группу риска по гипотиреозу из-за малого содержания в окружающей среде естественного йода, необходимого для работы щитовидной железы. Безусловно, в таких регионах в рацион телятам непременно вводится йод, однако гипотиреоз все равно остается актуальной проблемой. Дело в том, что йод является профилактическим средством, позволяющим вырабатывать необходимое количество гормонов нормально развитой щитовидной железой. В том случае если щитовидная железа недостаточно развита, а это часто наблюдается у телят из указанных регионов, необходима гормональная терапия, что практически недопустимо в условиях сельскохозяйственного производства.

Регуляция протеолитических систем, кислых и нейтральных протеиназ кардиомиоцитов, позволяет количественно изменять образование

ферментов и других биологически активных соединений, что существенно влияет на течение физиологических процессов.

Известно, что развитие сердечной мышцы во многом определяется уровнем гормонов щитовидной железы, которые регулируют изоферментный состав миозина в кардиомиоцитах желудочков, особенно в процессе роста особи [3]. Отсюда понятен интерес к возможной роли Ca^{2+} -зависимых протеиназ в механизме действия аналогов тиреоидных гормонов при развитии наиболее частого проявления дисфункции щитовидной железы из-за ее недоразвития (гипотиреоза) – патологии миокарда [4], [5].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Данные исследования выполнены в рамках комплексной работы, целью которой является решение проблемы оптимизации хозяйственно-полезных признаков (продуктивности, резистентности к маститу, лейкозу, устойчивости к гипотиреозу) коров черно-пестрой породы путем регуляции Ca^{2+} -антагонистом компенсаторной адаптивности к гипофункции щитовидной железы в процессе роста и развития животных.

Исследования проводились в трех направлениях: физиология и биохимия процессов адаптивности, селекционно-генетические аспекты, экологический мониторинг. Исходя из поставленной цели, одной из задач являлся анализ морфофункциональной регуляции развития миокарда и молочной железы гипотиреоидных животных в процессе их онтогенеза при компенсаторной адаптивности Ca^{2+} -антагонистом к низкому статусу трийодтиронина, чему и посвящена данная публикация.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-производственные опыты проводились с 1995 по 2010 год на поголовье крупного

рогатого скота в учхозе Рязанской ГСХА «Стенькино», ЗАО «Авангард» Рязанской области, ОАО ПХ «Лазаревское» Тульской области.

При формировании экспериментальных групп учитывали происхождение животных (линии, семейства, кроссы) по зоотехнической документации. Статистическую обработку результатов проводили после того, как экспериментальные животные выростывались из стада.

В качестве объекта исследований использовались телята черно-пестрой породы различного происхождения. Учитывали предрасположенность матерей к заболеваниям, наследуемость болезней по линии быков-отцов. Сформировали четыре экспериментальные группы: I – эутиреоидные животные, у которых уровень гормонов щитовидной железы в норме, им не производили активацию развития миокарда Ca^{2+} -антагонистом; II – аналогичные I группе эутиреоидные особи с введением регулятора Ca^{2+} ; III – гипотиреоидные животные с низким уровнем трийодтиронина без индукции развития миокарда Ca^{2+} -антагонистом; IV – гипотиреоидные особи, аналогичные III группе при регуляции блокатором «медленных» Ca^{2+} -каналов развития сердечной мышцы.

Лабораторные исследования проводили в лаборатории нанотехнологий в растениеводстве и животноводстве РГАТУ им. П. А. Костычева, а также в лаборатории электронной микроскопии ЦНИЛа РГМУ им. И. П. Павлова, согласно общепринятым методикам исследования тканей животных на электронном микроскопе ЭМВ 100 АК, с использованием при фиксации и окраске материала глутарового альдегида, осмиевой кислоты, смеси аралдита и эпона. Ультратонкие срезы получали на ультратомах УМТП-4 и УМТП-5. При количественном анализе ультроструктур кардиомиоцитов определяли среднее число митохондрий в одной электрограмме, среднее количество крист в одной митохондрии, количество первичных лизосом с плотным гомогенным содержимым и вторичных гетерогенных лизосом из расчета на 10 электрограмм.

Гистологическое строение молочной железы изучали на образцах, взятых методом биопсии. Оценка коров по устойчивости к маститу осуществлялась согласно коэффициенту устойчивости [1]. Устойчивыми к маститу считались коровы с коэффициентом не выше 0,3.

Диагностика лейкоза проводилась методом иммунной диффузии (РИД) по общепринятой методике. Также использовались «Методические рекомендации для тестирования крупного рогатого скота на предрасположенность к лейкозу», разработанные совместно с профессором А. А. Коровушкиным [2].

Экспериментальная часть работы с целью подбора дозировки препарата проводилась на лабораторных животных в ЦНИЛ РГМУ им. И. П. Павлова, на белых крысах линии Вистар ($n = 80$) и кроликах ($n = 12$) в лаборатории нанотехнологий в растениеводстве и животноводстве РГАТУ

им. П. А. Костычева. С целью выявления влияния Ca^{2+} -антагониста на развитие миокарда лабораторных животных были поставлены серии экспериментов, модулирующих гипотиреоз, который создавали путем удаления щитовидной железы по методу Я. Д. Киришенблата. В эксперимент брали животных через 15 дней после тиреоидэктомии. Контрольную группу крыс и кроликов подвергали ложной операции. Для исключения эффекта недостаточности гормона оперированным животным вводили Z-тирозин из расчета 50 мкг на 1 кг массы тела.

Для выявления роли Ca^{2+} -антагониста в реализации регуляторного эффекта на миокард гипотиреоидных лабораторных животных использовали кальций-регулирующее вещество нифедипин – блокатор «медленного» кальциевого канала, уменьшающего внутриклеточную концентрацию Ca^{2+} . Нифедипин является высокоспецифичным кальциевым антагонистом. Как отмечают многие ученые из ведущих научных лабораторий мира, деятельность которых направлена на исследование физиологии и патофизиологии сердца, препарат официально признан как « Ca^{2+} -антагонист», так как он угнетает все процессы, связанные с поступлением этого иона в кардиомиоциты, настолько специфически, что остальными его фармакологическими свойствами, по крайней мере в разумном диапазоне доз, можно пренебречь [2]. Регулятор Ca^{2+} вводили перорально в виде масляного раствора в дозе 0,15 мг/кг в течение недели.

С целью выявления роли Ca^{2+} -антагониста в развитии миокарда экспериментальных телят им вводили нифедипин по той же схеме, что и лабораторным животным.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Патология в кардиомиоцитах животных (телят, крыс, кроликов) при гипотиреозе выражается в атрофии миокардиальных волокон, наблюдается отек стромы и паренхимы, которые постепенно перерастают в очаговые некротические поражения. Фукусиофильная дегенерация, плазматическое пропитывание, вакуолярная и жировая дистрофия, миоцитоллизис, глыбчатый распад и другие патологические состояния сердечной мышцы явно возникают в кардиомиоцитах животных при недостатке трийодтиронина. Как показывают цитоморфологические исследования, реакция миокарда на введение Ca^{2+} -антагониста у лабораторных животных и у экспериментальных телят идентична, что говорит о правильном подборе дозы препарата, а также об отсутствии видовой специфичности его действия.

Дистрофия миокарда у телят при гипотиреозе, по нашему мнению, сопровождается снижением интенсивности окислительного фосфорилирования, замедлением синтеза белка, уменьшением поглощения кислорода, вследствие этого нарушается циркуляция крови, а в результате происходит

гипоплазия при развитии молочной железы. Сбой в работе иммунной системы возникает из-за нарушений гемопоэза, а вместе с ним – понижение резистентности к ВЛКРС (вирусу лейкоза крупного рогатого скота), что наблюдается из-за снижения окислительно-восстановительных процессов и клеточного дыхания.

При цитологических исследованиях миокарда телят наблюдается митохондриальный компартмент с нарушением архитектоники. Энергетические органеллы набухшие, рыхло располагаются по отношению друг к другу. Общее количество митохондрий по сравнению с нормой (миокард интактных эутиреоидных телят) уменьшается в среднем на 49,6 %. В большинстве митохондрий наблюдаются отечность и просветление матрикса на фоне гомогенизации крист. Количество крист в митохондриях также ниже нормы, их в среднем 9, тогда как в норме для данного вида и возраста животных – не менее 18. Площадь митохондрии достигает $0,38 \text{ мкм}^2$, в норме – $0,30 \text{ мкм}^2$.

Количество первичных лизосом в цитограммах миокарда гипотиреозных телят в 5,5 раза превышает норму, что указывает на активацию

аппарата Гольджи к процессам аутолизиса. Однако низкое число вторичных гетерогенных лизосом (их меньше нормы в 2,5 раза) на фоне очагов повреждения актин-миозиновых структур подтверждает изменения проницаемости мембран, что препятствует работе ферментов. В зонах гомогенизированных митохондрий и нарушений сократительных компартментов локализуются вторичные крупные лизосомы с гетерогенным содержимым низкой электронной плотности, остаточные тельца, гранулы липофусцина, что указывает на активацию лизиса структур, неспособных поддерживать работу кардиомиоцита в норме (табл. 1).

Такое нарушение энергетики сердечной мышцы, ее пластического обеспечения и электролитные сдвиги в процессе онтогенеза животных вызывают снижение сократительной функции органа. Недостаточная работоспособность сердечной мышцы неизбежно приводит к снижению циркуляции крови, а вместе с тем – к изменению клеточного дыхания, нарушению функциональной активности вымени, понижению резистентности. Цитоморфология кардиомиоцитов отражена в табл. 2.

Таблица 1

Цитограмма кардиомиоцитов телят при регуляции Ca^{2+} -антагонистом компенсаторной адаптивности к недостатку трийодтиронина

Показатель	Группа			
	эутиреоидные		гипотиреозные	
	I (n = 10 гол.)	II (n = 10 гол.)	III (n = 10 гол.)	IV (n = 10 гол.)
Митохондрий в 10 электронограммах	$54,0 \pm 1,00$	$51,8 \pm 1,36$	$27,2 \pm 0,86^{***}$	$49,2 \pm 2,24$
Крист в митохондри	$18,0 \pm 0,71$	$17,8 \pm 0,97$	$8,8 \pm 0,66^{**}$	$16,2 \pm 0,97$
Средняя площадь митохондрии, мкм^2	$0,30 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,02^{***}$	$0,33 \pm 0,01$
Первичные лизосомы на 10 полей зрения	$11,2 \pm 1,24$	$8,8 \pm 1,59$	$62,0 \pm 3,96^{***}$	$17,8 \pm 2,25^*$
Вторичные лизосомы на 10 полей зрения	$8,0 \pm 0,71$	$8,2 \pm 0,66$	$3,2 \pm 0,37^{***}$	$6,0 \pm 1,00$

Примечание. $P \leq 0,05$ – *, $P \leq 0,01$ – **, $P \leq 0,001$ – ***.

Таблица 2

Цитограмма кардиомиоцитов коров с низкой резистентностью к маститу и лейкозу при регуляции Ca^{2+} -антагонистом компенсаторной адаптивности к недостатку трийодтиронина

Показатель	Группа			
	эутиреоидные		гипотиреозные	
	I (n = 10 гол.)	II (n = 10 гол.)	III (n = 10 гол.)	IV (n = 10 гол.)
Восприимчивые к маститу				
Митохондрий в 10 электронограммах	$41,8 \pm 1,07$	$41,0 \pm 2,07$	$19,2 \pm 1,02^{***}$	–
Крист в митохондри	$16,0 \pm 0,63$	$16,2 \pm 0,80$	$6,8 \pm 1,16^{***}$	$15,2 \pm 0,80$
Средняя площадь митохондрии, мкм^2	$0,30 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,63 \pm 0,02^{**}$	$0,33 \pm 0,01$
Митохондрий на 10 полей зрения	$421,6 \pm 7,11$	$446,6 \pm 11,70$	$273,6 \pm 9,34^{***}$	$478,6 \pm 14,94$
Первичные лизосомы на 10 полей зрения	$10,6 \pm 1,83$	$9,0 \pm 0,71$	–	–
Вторичные лизосомы на 10 полей зрения	$8,2 \pm 1,02$	$8,4 \pm 0,93$	$4,0 \pm 0,71^{**}$	$6,2 \pm 0,66$
Восприимчивые к лейкозу				
Митохондрий в 10 электронограммах	$46,6 \pm 1,44$	$49,6 \pm 2,64$	$30,6 \pm 1,54^{***}$	$50,2 \pm 2,06$
Крист в митохондри	$15,8 \pm 0,37$	$17,2 \pm 0,86$	$10,8 \pm 1,24^{**}$	$18,6 \pm 1,12$
Средняя площадь митохондрии, мкм^2	$0,30 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,02^{***}$	$0,31 \pm 0,02$
Митохондрий на 10 полей зрения	$467,8 \pm 6,87$	$502,6 \pm 7,03$	$313,2 \pm 4,90^{**}$	$509,6 \pm 4,26$
Первичные лизосомы на 10 полей зрения	$6,0 \pm 0,71$	$7,2 \pm 1,07$	$67,6 \pm 4,23^{***}$	$7,6 \pm 1,60$
Вторичные лизосомы на 10 полей зрения	$4,8 \pm 0,37$	$11,6 \pm 1,08$	$1,8 \pm 0,37^{***}$	$7,0 \pm 0,89$

Разрабатывая методику оптимизации компенсаторной адаптивности при развитии миокарда телят с гипофункцией щитовидной железы, прежде всего мы выяснили действие Ca^{2+} -антагониста на кардиомиоциты. Обнаружена положительная динамика, показатели цитограммы приблизились к норме, что указывает на высокую эффективность применения Ca^{2+} -антагониста как регулятора развития миокарда при низком гипотиреоидном статусе.

Количество энергетических органелл в среднем для низкорезистентных к маститу эутиреоидных особей в 2,2 раза меньше, для неустойчивых к лейкозу – в 1,5 раза меньше, чем у высокоустойчивых особей. Использование Ca^{2+} -антагониста способствует нормализации количества митохондрий у восприимчивых к маститу животных независимо от трийодтиронинового статуса.

Таким образом, использование блокаторов «медленных» каналов Ca^{2+} при компенсаторно-приспособительной регуляции в процессе роста и развития животных увеличивает энергетический баланс сердца. Это положительно влияет на резистентность животных к маститу, а также к лейкозу, нормализуя проницаемость мембран лизосом, что способствует активации ферментативной системы клеток и увеличению защитной функции.

Регуляция развития миокарда телят под действием Ca^{2+} -антагониста оказывает положительное воздействие на формирование тканевой структуры молочной железы коров (табл. 3).

По диаметру продольных альвеол, высоте альвеолярных клеток, количеству клеток эпителия на 10 мкм, продольному диаметру жировых клеток, толщине магистральных соединительных тканевых тяжей гипотиреоидные коровы, которым в период раннего онтогенеза до возраста 18 месяцев не проводили стимуляцию развития миокарда, отличаются от своих интактных аналогов по указанным показателям на 19,2, 26,3, 18,6, 21,6, 29,2 % соответственно.

Таким образом, использование Ca^{2+} -антагониста в качестве стимулятора формирования цитоморфологических структур миокарда положительно влияет на развитие сердца независимо от гормонального статуса особи. Методика позволяет без использования гормональных препаратов оптимизировать работу сердца, что обеспечивает высокие метаболические, обменные процессы, реакции молекулярного дыхания, а значит, положительно влияет на развитие вымени коровы, формирует высокую резистентность к маститу и лейкозу.

Таблица 3

Гистоструктура молочной железы
экспериментальных коров

Показатель	Группа			
	эутиреоидные		гипотиреоидные	
	I (n = 10 гол.)	II (n = 10 гол.)	III (n = 10 гол.)	IV (n = 10 гол.)
Продольный диаметр альвеол, мкм	106,4 ± 3,27	104,8 ± 3,20	86,0 ± 1,92***	102,6 ± 3,57
Высота альвеолярных клеток, мкм	7,2 ± 0,16	7,0 ± 0,07	5,3 ± 0,14***	6,6 ± 0,13*
Количество клеток эпителия на 10 мкм диаметра альвеол, шт.	4,3 ± 0,07	4,3 ± 0,06	3,5 ± 0,07***	4,1 ± 0,08
Продольный диаметр жировых клеток, мкм	74,2 ± 1,32	71,8 ± 1,24	58,2 ± 1,07***	70,0 ± 1,92
Толщина магистральных соединительных тканевых тяжей, мкм	415,8 ± 6,41	423,6 ± 6,72	587,6 ± 4,57***	429,0 ± 10,18

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бороздин Э. К., Клейберг К. В., Зимин Г. Я. Устойчивость крупного рогатого скота к маститу. М.: ВНИИплем, 1993. 207 с.
2. Коровушкин А. А., Нефедова С. А. Методические рекомендации для тестирования крупного рогатого скота на предрасположенность к лейкозу. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2008. 11 с.
3. Физиология и патофизиология сердца: Пер. с англ.; в 2 т. / Под ред. Н. Сперелакиса. 2-е изд., испр. М.: Медицина, 1990. 624 с.
4. Яворский О. Г. Роль лизосом в патогенезе новодриновых повреждений миокарда // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 1982. № 4. С. 83–86.
5. Hajashi K. An electron microscope study on the conduction cow heart // Jpn. Circ. J. 1962. Vol. 26. P. 765–842.

УДК 636.2.03:636.2.082.4

ВАЛЕРИЯ ЮРЬЕВНА СИРОТИНИНА

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоотехнии, товароведения и экспертизы продовольственных товаров агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет
sirotinina@sampo.ru

ВЛИЯНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СТЕЛЬНОСТИ У КОРОВ АЙРШИРСКОЙ ПОРОДЫ

На пренатальное развитие плода крупного рогатого скота, постнатальное развитие теленка и последующую молочную продуктивность взрослой особи влияет множество факторов, в том числе и продолжительность стельности коров-матерей. В свою очередь, величина стельности зависит от породы, возраста коровы, пола и живой массы плода, сезона покрытия и других факторов.

Ключевые слова: корова, плод, теленок, продолжительность беременности

Высокая репродуктивная способность коров – это не только своевременное осеменение животных после отела и оптимальные показатели воспроизводства, но и получение здорового приплода. На пре- и постнатальное развитие теленка влияют генетические, физиологические и паратипические факторы, одним из которых является величина стельности у коров. Укорочение периода плодоношения у коров иногда ассоциируется с недоразвитостью плода, тогда как его удлинение, напротив, может привести к крупноплодию, которое затрудняет процесс отела. Есть также данные, свидетельствующие, что телята, родившиеся после укороченного или удлиненного срока плодоношения, отличаются соответственно ускоренными или замедленными темпами развития [2].

В свою очередь, продолжительность стельности у коров также зависит от многих факторов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в период 2006–2008 годов в хозяйствах Республики Карелия на коровах айрширской породы. Целью работы было изучить влияние возраста, сезона оплодотворения коров, живой массы новорожденного теленка и некоторых показателей воспроизводства на продолжительность стельности. Из показателей воспроизводства, согласно журналам искусственного осеменения коров, учитывались величина сухостойного периода (СХП), сервис-периода (СП), межотельного периода (МОП). В зависимости от продолжительности сухостойного периода учтенные коровы были разделены на 2 группы: I. СХП = 45–60 дней; II. СХП = 61–100 дней. Учитывая продолжительность сервис-периода, были выделены 3 группы животных: I. СП = 60–80 дней; II. СП = 81–100 дней; III. СП = 101–120 дней. При

оценке взаимосвязи между межотельным периодом и стельностью определены группы коров с МОП: I. 320–349 дней; II. 350–379 дней; III. 380–409 дней.

Вес новорожденных телят определялся путем взвешивания в течение 30 минут после рождения. В результате были сформированы группы новорожденных телят с живой массой 20,0–23,0 кг; 23,1–26,0 кг; 26,1–29,0 кг; 29,1–32,0 кг.

Анализ продолжительности стельности проводили с учетом возраста коров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно литературным данным, влияние возраста на продолжительность стельности у коров не установлено. Однако зафиксировано, что у коров айрширской породы стельность короче на 3–5 дней, чем у коров других пород [2], [4].

Нами подтверждена укороченная до 278,5–279,8 дня стельность у айрширских коров по сравнению с биологически обусловленным для коров сроком плодоношения (285 дней). Следует отметить, что у первотелок стельность была на 2,4 дня короче, чем у коров 3–4-го отелов ($P < 0,05$).

Средняя продолжительность стельности у коров изменялась в зависимости от сезона оплодотворения (табл. 1).

У коров, оплодотворенных весной, средняя продолжительность стельности была на 2,6 дня больше, чем у коров, осемененных в зимний период ($P < 0,05$). У животных 2-го отела, оплодотворенных весной, стельность была на 5,6 и 6,3 дня продолжительнее, чем у сверстниц, осемененных зимой и летом ($P < 0,05$). Особенно заметным было увеличение стельности (на 7,2 дня) у коров 3–4-го отелов, осемененных летом, по сравнению с коровами 2-го отела, осемененными в это же время.

Таблица 1

Влияние сезона оплодотворения на продолжительность стельности у коров айрширской породы (АК им. Зайцева)

Возраст в отелах (год)	Зима		Весна		Лето		Осень	
	Продолжительность стельности (дни)							
	п	$\bar{X} \pm m$	п	$\bar{X} \pm m$	п	$\bar{X} \pm m$	п	$\bar{X} \pm m$
1	11	277,8 $\pm$ 2,1	10	278,1 $\pm$ 2,3	9	278,2 $\pm$ 2,5	12	279,1 $\pm$ 1,9
2	10	275,1 $\pm$ 2,4	21	280,7 $\pm$ 1,3	15	274,4 $\pm$ 2,6	13	276,7 $\pm$ 1,8
3 + 4	21	278,1 $\pm$ 1,9	40	279,9 $\pm$ 1,2	9	281,6 $\pm$ 2,4	21	278,8 $\pm$ 1,4
5 и старше	19	277,8 $\pm$ 1,2	15	278,8 $\pm$ 2,7	13	278,7 $\pm$ 2,3	14	282,8 $\pm$ 2,4
Всего	61	277,4 $\pm$ 1,0	86	280,0 $\pm$ 0,9	46	278,9 $\pm$ 1,7	60	279,1 $\pm$ 1,1

Таблица 2

Влияние живой массы новорожденного теленка на продолжительность стельности у коров айрширской породы (ЗАО «Эссойла»)

Возраст в отелах	Живая масса новорожденных телят (кг)							
	20,0–23,0		23,1–26,0		26,1–29,0		29,1–32,0	
	Продолжительность стельности у коров-матерей (дни)							
	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$
1	10	279,4 ± 0,9	9	278,3 ± 1,1	12	277,1 ± 0,6	4	279,0 ± 1,9
2	11	280,3 ± 0,7	10	277,9 ± 0,7	9	276,5 ± 0,7	6	280,2 ± 1,4
3 + 4	11	279,1 ± 0,8	9	280,1 ± 0,9	10	279,3 ± 0,7	8	281,2 ± 1,1
5 и старше	13	279,0 ± 0,7	16	278,9 ± 0,6	14	279,2 ± 0,6	6	279,3 ± 1,6
Всего	45	278,8 ± 0,8	44	278,9 ± 0,7	45	278,6 ± 0,6	24	279,9 ± 1,3

Таблица 3

Величина стельности у коров айрширской породы в зависимости от продолжительности сухостойного, сервис- и межотельного периодов (ЗАО «Эссойла»)

Возраст в отелах	СХП (дни)				СП (дни)					МОП (дни)						
	45–60		61–100		60–80		81–100		101–120		320–349		350–379		380–409	
	Продолжительность стельности у коров (дней)															
	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$	n	$\bar{X} \pm m$
1	–	–	–	–	8	281,2 ± 1,3	13	279,8 ± 0,9	8	278,3 ± 1,1	4	276,4 ± 1,9	19	278,7 ± 0,8	10	281,4 ± 1,1
2	13	277,5 ± 1,0	23	279,2 ± 0,8	11	281,3 ± 1,1	12	279,2 ± 0,9	5	278,9 ± 1,9	9	277,9 ± 1,2	18	280,1 ± 0,8	8	283,1 ± 1,2
3 + 4	12	278,4 ± 0,9	26	279,4 ± 0,7	9	280,1 ± 1,3	20	280,4 ± 0,8	4	278,1 ± 2,2	7	276,3 ± 1,3	24	279,7 ± 0,7	6	280,7 ± 1,3
5 и старше	20	279,2 ± 0,7	29	280,1 ± 0,7	12	281,3 ± 1,1	21	280,1 ± 0,8	5	278,7 ± 1,7	6	278,1 ± 1,3	33	279,9 ± 0,7	7	280,7 ± 1,3
Всего	45	278,4 ± 0,7	78	279,5 ± 0,7	40	280,9 ± 0,8	66	279,8 ± 0,7	22	278,4 ± 0,9	26	277,2 ± 0,9	94	279,6 ± 0,7	31	281,6 ± 0,8

Сезонное увеличение продолжительности стельности у коров может быть обусловлено действием неблагоприятных факторов на плод, тормозящих его развитие: нарушения условий содержания и кормления животных, субклинические болезни органов размножения, мастит у коров-матерей [1] и другие причины.

В работе изучена взаимосвязь между массой новорожденного теленка и продолжительностью стельности у коров (табл. 2).

У первотелок и коров в возрасте второго отела, родивших телят с живой массой 26,1–29 кг, стельность была достоверно короче на 2,3 и 3,8 дня, чем у сверстниц, которые произвели телят с весом 20–23 кг ($P = 0,05$; $P < 0,001$). У коров 2-го отела, родивших телят с живой массой 26,1–29 кг, продолжительность стельности была меньше на 2,8 и 2,7 дня, чем у коров старшего возраста (3–4-го, 5-го и старше отелов), которые принесли телят с таким же весом.

Можно предположить, что живая масса новорожденного теленка, равная 26,1–29 кг, является оптимальной для молодых коров и свидетельствует о зрелости плода. Такой плод давит на нервные зоны матки, стимулируя родовую деятельность. Дальнейшее увеличение живой массы плода может привести к перерастяжению матки, ее гипотонии и осложнениям при отеле.

Изучая влияние продолжительности сухостойного, сервис- и межотельного периодов на стельность (табл. 3), мы установили, что у коров 5-го отела и старше с СХП более 61 дня стельность продолжалась дольше на 2,6 дня ($P < 0,05$), чем у первотелок с нормальной продолжительностью сухостоя. Сухостойный период совпадает с последним триместром беременности коровы, когда рост и развитие плода наиболее интенсивны. Возможно, у старых коров СХП был удлинён на фоне замедленного обмена веществ, что сказалось на росте и развитии плода и удлинении периода плодоношения.

Увеличение сервис-периода до 101–120 дней, напротив, способствовало укорочению средней продолжительности стельности до 278,4 дня против 280,9 дня при нормальном сервис-периоде. Удлинение сервис-периода у коров часто связывают с болезнями органов размножения или повышением удооя. Возможно также, что удлиненный сервис-период был необходим данным особям и способствовал полноценной послеродовой инволюции, зачатию и более интенсивному обмену веществ у плода, а следовательно, сокращению периода плодоношения.

Продолжительность стельности связана с величиной межотельного периода у коров ($r = 0,3$). При удлинении межотельного периода с 320–349 дней до 350–379 и 380–409 дней средняя продолжительность стельности у коров достоверно увеличивалась на 2,4 и 4,4 дня ($P < 0,05$; $< 0,001$). В разновозрастных группах животных также установлено увеличение стельности при удлиннном, свыше 380 дней, межотельном периоде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена укороченная стельность у первотелок в сравнении с коровами среднего возраста.

2. У коров 2-го отела, оплодотворенных весной, стельность была продолжительнее на 5,6–

6,3 дня по сравнению с осемененными зимой и летом сверстницами.

3. При массе новорожденного теленка 26,1–29 кг стельность у молодых коров была короче, чем у сверстниц, родивших телят весом 20–23 кг.

4. Удлинение сухостойного периода на срок более 61 дня привело к увеличению продолжительности стельности у коров 5-го отела и старше по сравнению с первотелками, у которых СХП был в норме.

5. При увеличении сервис-периода до 101–120 дней средняя продолжительность стельности у коров достоверно укорачивалась на 2,5 дня в сравнении со стельностью коров, у которых сервис-период был в норме.

6. Удлинение межотельного периода ассоциировалось с увеличением средней продолжительности стельности у коров на 2,4–4,4 дня.

Некоторые авторы [2], [3] указывают, что телки, родившиеся от здоровых матерей в результате укороченной беременности, становились в дальнейшем более продуктивными коровами по сравнению с животными, утробное развитие которых было более продолжительным. Возможно, целесообразно отбирать для ремонта стада телок, появившихся на свет от здоровых коров-матерей после укороченной в пределах нормы стельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болгов А. Е., Карманова Е. П., Хакана И. А., Хуобонен М. Э., Макарова В. Е., Сиротинина В. Ю. Повышение воспроизводительной способности молочных коров: Учеб. пособие. СПб.: Лань, 2010. 224 с.
2. Преображенский О. Н. Продолжительность беременности у животных // Зоотехния. 2001. № 4. С. 30–32.
3. Садыгов Э. Г., Ершов И. Ю., Стоянов В. К. Развитие телят в зависимости от продолжительности плодоношения // Зоотехния. 1996. № 1. С. 24–25.
4. Petraškiene R. Analysis of reproductive features and factors influencing these features in the black & white cattle population in Lithuania: Doctoral dissertation in Zootechny science. Kaunas, 2005.

УДК 624.072

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ КАРПЕНКО

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем прочности и качества в строительстве, НИИ строительной физики (г. Москва)
niisf_lab9@mail.ru

АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ПЕТРОВ

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета, Петрозаводский государственный университет
petr@psu.karelia.ru

ЗАХАР АНДРЕЕВИЧ ВОРОНИН

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета, Петрозаводский государственный университет
voronin.ptz@gmail.com

МИХАИЛ ЛЕОНИДОВИЧ МИРОХИН

инженер, ООО «САНА» (г. Петрозаводск)
mirokhinml@mail.ru

ИНКРЕМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОМУ РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК-СТЕНОК С ТРЕЩИНАМИ

В статье рассматривается инкрементальный подход к анализу напряженно-деформированного состояния железобетонных балок-стенок с трещинами. В основу методики расчета положены зависимости деформационной теории пластичности железобетона с трещинами Н. И. Карпенко. Приводятся результаты расчета экспериментальных балок-стенок из опытов М. П. Нильсена.

Ключевые слова: теория пластичности железобетона, балки-стенки с трещинами, метод конечных элементов

Существенной проблемой численной реализации физически нелинейных моделей и методов расчета железобетонных конструкций является сходимость итерационных процессов. Как показывает опыт конечно-элементного анализа [3], после образования трещин требуется от 50 до 100 итераций на каждом шаге нагружения для обеспечения 5 % точности решения задачи в перемещениях.

В настоящей работе рассматривается построение инкрементальной модели железобетона с трещинами на основе общей механики железобетона [1], которая прошла большую экспериментальную проверку и принята в качестве основы для сопоставления результатов при переходе к инкрементальным физическим соотношениям.

В нелинейной анизотропной модели балки-стенки учитываются нелинейный характер деформирования бетона и арматуры и образование трещин, что приводит к приобретаемой анизотропии. Согласно этой модели, связь между деформациями и напряжениями представляется в виде:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где [C] – симметричная матрица податливости железобетона.

При формировании матрицы [C] учитываются анизотропия, физическая нелинейность бетона и арматуры, связи зацепления берегов трещин, влияние сцепления арматуры с бетоном между трещинами на ее диаграмму растяжения (на основании методики В. И. Мурашева) и другие факторы нелинейности. Физические соотношения (1) и коэффициенты матрицы податливости [C] устанавливаются на основании анализа напряженно-деформированного состояния малых элементов балки-стенки. При этом выделяются четыре стадии работы материала:

- линейная без трещин (упругая стадия работы бетона и арматуры);
- нелинейная без трещин (с учетом влияния пластических деформаций в бетоне);
- с трещинами при упругой работе арматуры в трещинах;
- с трещинами при работе арматуры за пределом упругости.

Трещины в бетоне образуются по площадкам действия главных растягивающих напряжений, когда их значение достигает предела прочности бетона на растяжение в условиях плоского напряженного состояния (нарушения критерия

прочности). Физические соотношения между вектором деформаций и вектором напряжений имеют нелинейный характер и существенно зависят от величины достигнутых усилий в бетоне и арматуре. Применение шагово-итерационной процедуры решения задачи позволяет получить полную кривую равновесного состояния конструкции и проследить всю историю ее работы под увеличивающейся нагрузкой вплоть до разрушения, но требует очень большого объема вычислений. Этот недостаток становится особенно ощутимым при решении большемерных задач. Шаговые методы при малом увеличении параметра нагрузки позволяют получить приближенную кривую равновесных состояний, однако такой подход при использовании секущих характеристик жесткости приводит к существенным погрешностям.

Рассмотрим решение физически нелинейной задачи расчета железобетонных балок-стенок малоитерационным методом в конечных приращениях. В этом случае система физических соотношений в секущих модулях приводится к системе физических соотношений в условно касательных модулях по методу [2]. Исходная система физических соотношений с использованием секущих характеристик жесткости на j -м шаге имеет следующий вид:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xj} \\ \varepsilon_{yj} \\ \gamma_{xyj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11j} & C_{12j} & C_{13j} \\ C_{12j} & C_{22j} & C_{23j} \\ C_{13j} & C_{23j} & C_{33j} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_{xj} \\ \sigma_{yj} \\ \tau_{xyj} \end{Bmatrix}. \quad (2)$$

Аналогичная система на $j+1$ -м шаге:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xj+1} \\ \varepsilon_{yj+1} \\ \varepsilon_{xyj+1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11j+1} & C_{12j+1} & C_{13j+1} \\ C_{12j+1} & C_{22j+1} & C_{23j+1} \\ C_{13j+1} & C_{23j+1} & C_{33j+1} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_{xj+1} \\ \sigma_{yj+1} \\ \tau_{xyj+1} \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

Вычтем из системы (3) систему (2):

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{xj+1} - \varepsilon_{xj}) &= (C_{11j+1}\sigma_{xj+1} - C_{11j}\sigma_{xj}) + \\ &+ (C_{12j+1}\sigma_{yj+1} - C_{12j}\sigma_{yj}) + (C_{13j+1}\sigma_{xyj+1} - C_{13j}\sigma_{xyj}); \\ (\varepsilon_{yj+1} - \varepsilon_{yj}) &= (C_{12j+1}\sigma_{xj+1} - C_{12j}\sigma_{xj}) + \\ &+ (C_{22j+1}\sigma_{yj+1} - C_{22j}\sigma_{yj}) + (C_{23j+1}\sigma_{xyj+1} - C_{23j}\sigma_{xyj}); \\ (\gamma_{xyj+1} - \gamma_{xyj}) &= (C_{13j+1}\tau_{xyj+1} - C_{13j}\tau_{xyj}) + \\ &+ (C_{23j+1}\tau_{xyj+1} - C_{23j}\tau_{xyj}) + (C_{33j+1}\tau_{xyj+1} - C_{33j}\tau_{xyj}). \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначим

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_{xj+1} &= \varepsilon_{xj+1} - \varepsilon_{xj}; \\ \Delta\varepsilon_{yj+1} &= \varepsilon_{yj+1} - \varepsilon_{yj}; \\ \Delta\varepsilon_{xyj+1} &= \varepsilon_{xyj+1} - \varepsilon_{xyj}; \\ \Delta\sigma_{xj+1} &= \sigma_{xj+1} - \sigma_{xj}; \Delta\sigma_{yj+1} = \sigma_{yj+1} - \sigma_{yj}; \Delta\tau_{xyj+1} = \\ &= \tau_{xyj+1} - \tau_{xyj}. \end{aligned} \quad (5)$$

Разделим и одновременно умножим первые разности в правой части (4) на $\Delta\sigma_{xj+1}$, вторые – на $\Delta\sigma_{yj+1}$, третьи – на $\Delta\tau_{xyj+1}$ и обозначим:

$$\begin{aligned} C_{11j+1}^k &= \frac{C_{11j+1}\sigma_{xj+1} - C_{11j}\sigma_{xj}}{\Delta\sigma_{xj+1}}; C_{22j+1}^k = \frac{C_{22j+1}\sigma_{yj+1} - C_{22j}\sigma_{yj}}{\Delta\sigma_{yj+1}}; \\ C_{12j+1}^k &= \frac{1}{2} \left(\frac{C_{12j+1}\sigma_{yj+1} - C_{12j}\sigma_{yj}}{\Delta\sigma_{yj+1}} + \frac{C_{12j+1}\sigma_{xj+1} - C_{12j}\sigma_{xj}}{\Delta\sigma_{xj+1}} \right); \\ C_{13j+1}^k &= \frac{1}{2} \left(\frac{C_{13j+1}\tau_{xyj+1} - C_{13j}\tau_{xyj}}{\Delta\tau_{xyj+1}} + \frac{C_{13j+1}\sigma_{xj+1} - C_{13j}\sigma_{xj}}{\Delta\sigma_{xj+1}} \right); \\ C_{23j+1}^k &= \frac{1}{2} \left(\frac{C_{23j+1}\tau_{xyj+1} - C_{23j}\tau_{xyj}}{\Delta\tau_{xyj+1}} + \frac{C_{23j+1}\sigma_{yj+1} - C_{23j}\sigma_{yj}}{\Delta\sigma_{yj+1}} \right); \\ C_{33j+1}^k &= \frac{C_{33j+1}\tau_{xyj+1} - C_{33j}\tau_{xyj}}{\Delta\tau_{xyj+1}}. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом выражений (5) и (6) система (4) преобразуется к виду:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon_{xj+1} \\ \Delta\varepsilon_{yj+1} \\ \Delta\gamma_{xyj+1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11j+1}^k & C_{12j+1}^k & C_{13j+1}^k \\ C_{12j+1}^k & C_{22j+1}^k & C_{23j+1}^k \\ C_{13j+1}^k & C_{23j+1}^k & C_{33j+1}^k \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \Delta\sigma_{xj+1} \\ \Delta\sigma_{yj+1} \\ \Delta\tau_{xyj+1} \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

При решении задачи шаговым методом с равными шагами по нагрузке в зависимостях (6) можно приближенно принимать:

$$\Delta\sigma_{xj+1} \approx \Delta\sigma_{xj} = \sigma_{xj} - \sigma_{xj-1};$$

аналогично

$$\Delta\sigma_{yj+1} \approx \Delta\sigma_{yj}; \Delta\tau_{xyj+1} \approx \Delta\tau_{xyj};$$

$$\sigma_{xj+1} \approx \sigma_{xj} + \Delta\sigma_{xj}; \sigma_{yj+1} \approx \sigma_{yj} + \Delta\sigma_{yj}; \tau_{xyj+1} \approx \tau_{xyj} + \Delta\tau_{xyj}. \quad (8)$$

В дальнейшем, решая задачу по системе (7), получаем несколько иные значения $\Delta\sigma_{xi+1}$, $\Delta\sigma_{vi+1}$, $\Delta\tau_{xvi+1}$, которые используем при вычислении жесткостей по формулам (6) на $j+2$ -м шаге.

Смысл указанных выше формальных преобразований заключается в том, что при использовании выражений (8) погрешности на шагах нагружения накапливаются небольшие и на каждом шаге можно обойтись одной итерацией.

Предлагаемый малоитерационный подход к физически нелинейному расчету железобетонных балок-стенок в конечных приращениях реализован в виде алгоритма и компьютерной программы расчета. Адекватность предлагаемого подхода оценивается путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных, характеризующих работу конструкции в процессе нагружения. Были исследованы шагово-итерационные процедуры, построенные на базе секущих матриц жесткости, и шаговые процедуры с использованием касательных матриц (матриц с касательными элементами жесткости). Для сопоставления предлагаемых методик был осуществлен численный эксперимент, в ходе которого рассчитывались железобетонные балки-стенки из опытов М. П. Нильсена [4]. Балки-стенки высотой $h = 100$ см, толщиной $t = 8$ см и пролетами $l = 100$ см (балка-стенка № 101) и $l = 200$ см (балка-стенка № 103) были испытаны на кратковременную нагрузку. Армирование балок-стенок осуществлялось однородной сеткой из стальной

проволоки диаметром 6 мм и шагом 100 мм ($\mu_x = \mu_y = 0,0035$). Физико-механические свойства арматуры, схемы армирования балок-стенок и физико-механические свойства бетона приведены в работе [3].

Для расчета симметричные части балок-стенок № 101 и 103 были разбиты на 51 и 101 прямоугольных КЭ, соединенных 68 и 123 узлами соответственно. На рис. 1 и 2 представлены графики прогибов балок-стенок. Как в опыте, так и в расчете балки-стенки загружались до разрушения. В балке-стенке № 101 опытная нагрузка трещинообразования составила 145 кН, расчетная – 120 кН. В балке-стенке № 103 опытная нагрузка трещинообразования – 78 кН, расчетная – 90 кН. В эксперименте и в расчете образование первых трещин не привело к существенному нарастанию прогибов. Как следует из графиков (рис. 1 и 2) и анализа напряженно-деформированного состояния, нелинейность де-

формирования резко возрастает с началом текучести растянутой арматуры, сокращением высоты сжатой зоны и сопровождается нарастающим раскрытием трещин. Как в опыте, так и в расчете разрушение балок-стенок явилось следствием текучести продольной растянутой арматуры и истощения прочности бетона сжатой зоны.

Расчетные схемы балок-стенок, совмещенные со схемами образования и развития трещин, представлены на рис. 3 и 4.

Теоретическая кривая прогиба, рассчитанная по предлагаемой методике, по характеру деформирования полностью соответствует опытной с расхождением в отдельных точках до 15 %. Отклонение теоретической кривой, полученной шагово-итерационным методом с использованием секущих характеристик жесткости, составило 7 %. Разрушение балок-стенок сопровождалось текучестью арматуры растянутой зоны, что также соответствует опытным данным.

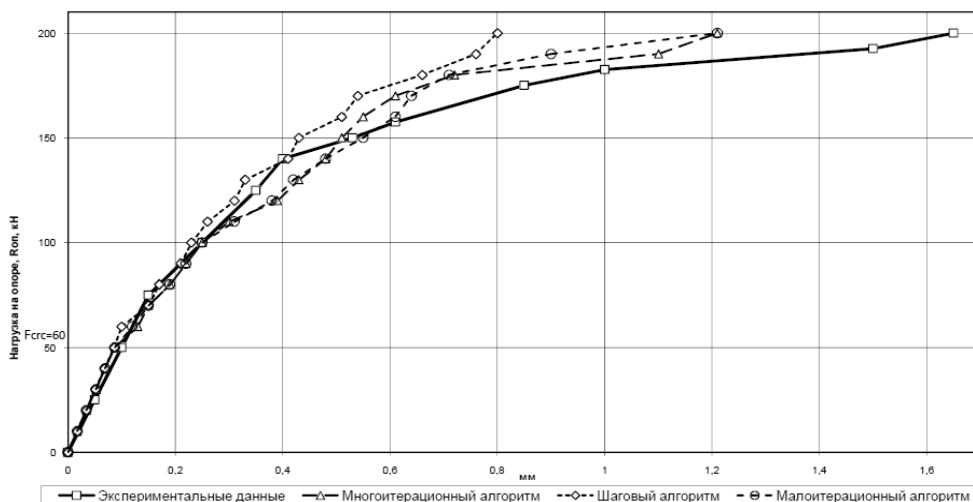


Рис. 1. График прогибов балки-стенки № 101

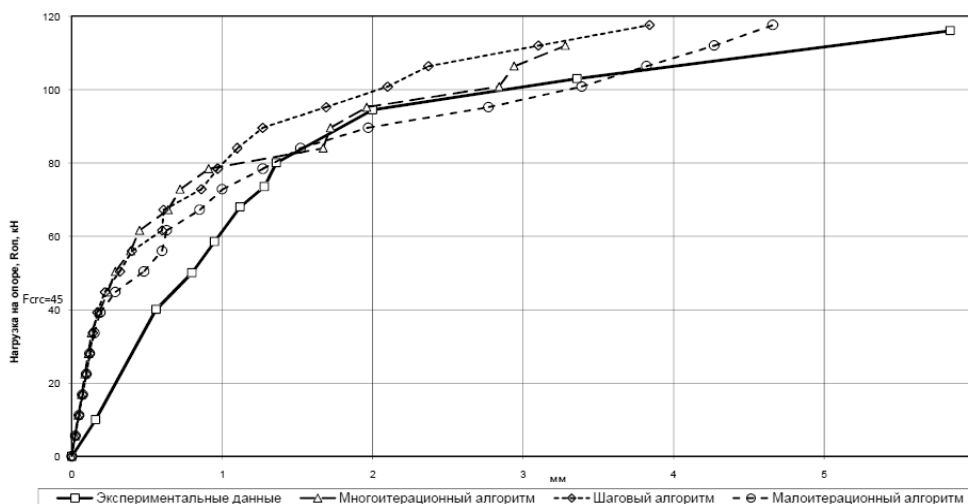


Рис. 2. График прогибов балки-стенки № 103

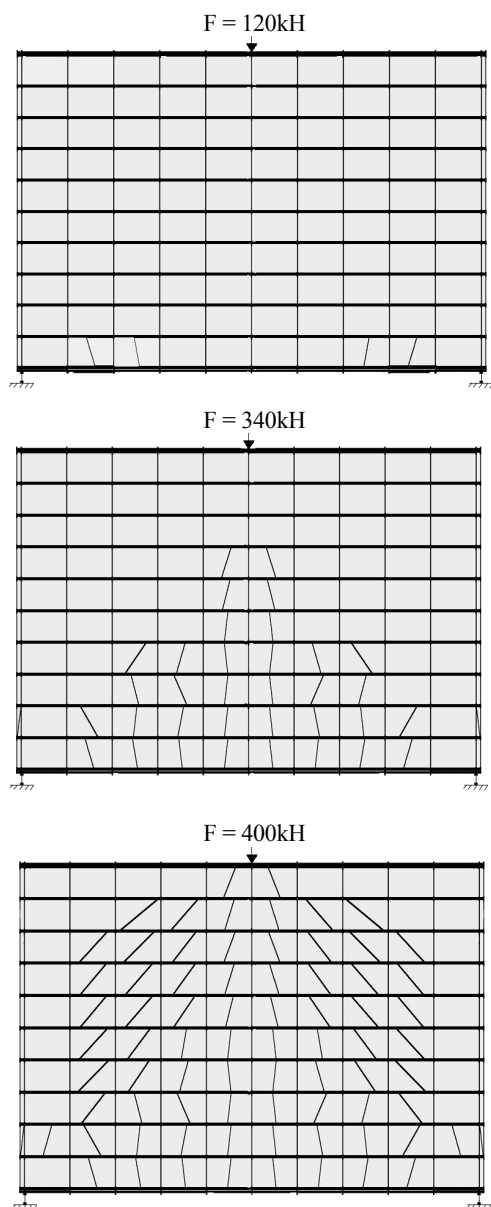


Рис. 3. Схемы образования и развития трещин в балке-стенке № 101

Выполненная проверка эффективности предложенного метода построения физических соотношений в конечных приращениях и перехода от секущих характеристик жесткости к касательным на примере расчета экспериментальных балок-стенок показала высокую эффективность малоитерационного шагового способа решения физически нелинейных задач железобетона. Расхож-

дение с результатами физически нелинейного расчета по шагово-итерационному методу не превышает 8 %. Хорошее согласование опытных и теоретических прогибов, вычисленных с использованием предлагаемых физических соотношений в инкрементальной форме, а также последовательности образования и развития трещин во всем диапазоне увеличения нагрузки практически до разрушения позволяет рекомендовать малоитерационный метод для численного моделирования сложных пространственных железобетонных конструкций, работающих в условиях плоского напряженного состояния.

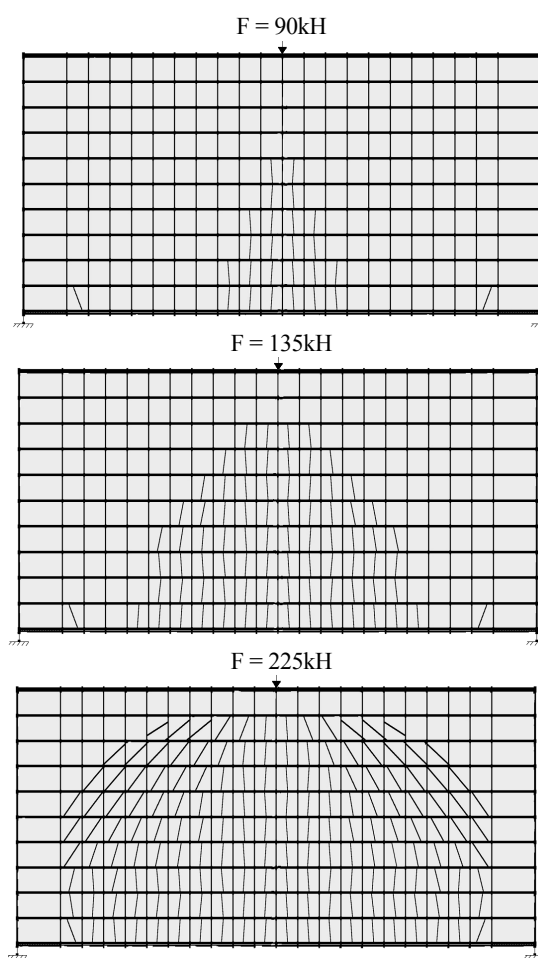


Рис. 4. Схемы образования и развития трещин в балке-стенке № 103

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
2. Карпенко С. Н. Методы решения физически нелинейных задач железобетона в конечных приращениях // Известия «Строительство. Транспорт» ОрелГТУ. 2009. № 6. С. 9–14.
3. Петров А. Н., Воронин З. А., Евсеева А. В. Физически нелинейный расчет железобетонных балок-стенок с трещинами методом конечных элементов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2008. № 1. С. 31–35.
4. Nilsen M. P. Limit Analysis of Reinforced Concrete Slabs // Acta Politech. Scand. 1964. Gi. 26.

УДК 519.6; 624.075

ЮРИЙ БОРИСОВИЧ ГОЛЬДШТЕЙН

кандидат технических наук, профессор кафедры механики
строительного факультета, Петрозаводский государственный
университет
mech2007@psu.karelia.ru

ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ

Рассматривается линеаризованная задача устойчивости упругой стержневой конструкции с односторонними связями. Обсуждаются признаки, проявляющиеся в ходе решения такой задачи, которые свидетельствуют о возможности потери устойчивости конструкции в большом.

Ключевые слова: устойчивость, односторонние связи, система сравнения, нижняя критическая сила, верхняя критическая сила

Пусть стержневая конструкция с односторонними связями испытывает силовое воздействие, которое может быть представлено в виде двух составляющих. Одна из них, именуемая λ -составляющей и обозначаемая P_λ , меняется пропорционально параметру λ . В исходном состоянии равновесия конструкции составляющая P_λ приводит к возникновению в ее элементах сжимающих продольных сил. Часть P_μ нагрузки, зависящая от параметра μ , то есть ее μ -составляющая, продольных сил в конструкции не порождает вообще или приводит к пренебрежимо малым значениям последних. В частности, при внецентренном сжатии $P_\lambda = P$, $P_\mu = Pe$, где P и e – величина силы и ее эксцентриситет соответственно. Обе названные составляющие серьезно влияют на ход решения задачи устойчивости конструкции с односторонними связями и результат решения [1], [2]. О проблемах, которые могут возникнуть при рассмотрении обсуждаемой задачи, в монографии А. В. Перельмутера сказано: «...потеря устойчивости системы с односторонними связями может происходить либо в виде достижения критического значения нагрузки для реализованной в процессе деформирования рабочей системы, либо в том случае, когда ранее нереализуемая (запрещенная односторонними связями) схема закритического деформирования, соответствующая другой рабочей системе, при возрастании интенсивности нагружения перешла в класс реализуемых. При этом само критическое значение, соответствующее такому переходу, может не совпадать с критическим нагрузкой ни одной из рабочих систем. Заметим, что явление неустойчивости в большом не может иметь место при отсутствии активной нагрузки (то есть воздействия P_μ в терминологии настоящей статьи. – Ю. Г.), а также при отсутствии зазоров и/или преднапряжения в односторонних связях. Следуя установившейся традиции, мы будем далее называть критическую нагрузку, соответствующую потере устойчивости в малом, верхней критической нагрузкой, а нагрузку, при которой возможна потеря устойчивости в большом, – нижней

критической нагрузкой. Во многих случаях явление неустойчивости в большом может и не препятствовать эксплуатации конструкции, поскольку преодоление энергетического барьера требует появления достаточно больших возмущений. Однако этот вопрос следует решать в каждом конкретном случае отдельно. Поэтому, наряду с вопросом об определении верхней критической нагрузки (опасность появления которой еще следует оценить), мы далее рассмотрим и проблему определения нижней критической нагрузки» [3; 95–96].

Итак, с чем приходится сталкиваться при наличии у силового воздействия ненулевой составляющей P_μ , обозначено ясно. Однако в монографии [3] ничего не говорится о том, как оценить вероятность потери устойчивости конструкции в большом и как установить величину энергетического барьера, преодолеваемого при перескоке. Эти вопросы оказались вынесены за рамки указанной работы.

Верхнюю критическую силу обычной конструкции находят при решении линеаризованной задачи устойчивости, тогда как для определения нижней критической силы требуется учет конечности перемещений. При этом наличие воздействия P_μ к существенным осложнениям хода решения задачи не приводит. Но при наличии односторонних связей множество проблем возникают уже на стадии отыскания верхней критической силы. В общем случае задача поиска рабочей системы, теряющей устойчивость, является комбинаторной даже при $P_\mu = 0$, хотя принципиально ясно, что устойчивость теряет та рабочая система, у которой минимальна критическая сила. Если же $P_\mu \neq 0$, то верхняя критическая сила рассчитываемой конструкции может не совпадать ни с одной из эйлеровых сил рабочих систем конструкции. Чтобы найти такую критическую силу, требуется проследить за процессом деформирования всех рабочих систем.

Однако обсуждать алгоритмы решения комбинаторных задач в этой статье не предполагается. Речь в ней пойдет о том, как можно восполь-

зоваться результатами решения линеаризованной задачи устойчивости системы с односторонними связями для оценки вероятности перескока из равновесного состояния, поддерживаемого верхней критической силой, в состояние, реализуемое при нижней критической силе. Рассматриваются начальные состояния, которые при заданных значениях параметров λ и μ являются устойчивыми: $\lambda < \lambda_{кр}$. Далее эти параметры могут меняться по любым заранее оговоренным законам. Это позволяет начинать решение задачи с отыскания рабочей системы, воспринимающей воздействие P_μ при $P_\lambda = 0$. Способы решения данной задачи известны. Ясно также, как найти спектр эйлеровых сил для конкретной рабочей системы. Далее потребуется лишь наращивать воздействия P_μ и P_λ по заданным законам и следить за переключением односторонних связей. При каждом переключении происходит смена рабочей системы, и для каждой новой рабочей системы решается задача на собственные значения. Как только какая-либо из рабочих систем потеряет устойчивость, то есть определитель некоторой системы линейных уравнений обратится в нуль, значение λ^B параметра λ фиксируется. Верхняя критическая сила найдена.

Естественно, при определении спектра эйлеровых сил каждой рабочей системы надо следить за тем, чтобы отвечающие этим силам собственные векторы могли реализоваться, то есть отвечали характеру односторонних связей. В противном случае линеаризованная задача устойчивости обсуждаемой конструкции не будет иметь решения. Если же решение существует, то вопрос о том, совпадает ли величина λ^B со значением λ^H , характеризующим нижнюю критическую нагрузку, или нет, а если нет, то какой именно рабочей системе отвечает нижняя критическая сила и чему она равна, по-прежнему останется открытым. Возникает потребность в каких-либо априорных оценках величины λ^H .

Пусть подконструкция, которая получается при удалении из заданной конструкции всех односторонних связей, является неизменяемой. Такая подконструкция будет далее называться

ядром исходной конструкции. Можно ожидать, что критическая сила ядра, характеризующая параметром $\lambda^я$, приводит к оценке величины нижней критической силы снизу. Во многих случаях это действительно так, но возможны и исключения. Об этом свидетельствуют конструкции, изображенные на рис. 1а. У первой из них все пять стоек оперты на землю односторонне, причем поворотам опорных торцов крайних стоек ничто не препятствует. Точно так же присоединяются к земле крайние стойки второй рамы, тогда как опоры трех остальных ее стоек представляют собой обычные защемления. На рис. 1б изображены ядра описанных конструкций. Ядро конструкции 1 устойчивости при сжатии не теряет, ибо продольные силы в его элементах отсутствуют. Сразу становится ясно, что получить с его помощью какие-либо оценки для нижней критической нагрузки нельзя.

Гораздо опаснее ситуация, возникающая при анализе ядра второй конструкции. Вычисления показывают, что оно теряет устойчивость при $q^я = 25,0823 EI/l^3$. Если принять эту величину в качестве нижней оценки для критической нагрузки и строить решение задачи, постепенно увеличивая ее значение, то обнаружится, что все односторонние связи становятся активными и система потеряет устойчивость при $q^* = 29,3950 EI/l^3$. Однако, и это снова показывают вычисления, нагрузка q^* критической не является. Таковая гораздо меньше: $q_{кр} = 16,6917 EI/l^3$.

Полученный результат объясняется тем, что среди опорных связей конструкций 1 и 2 имеются так называемые дестабилизирующие связи. При постановке таких связей сопротивляемость конструкции потере устойчивости не повышается, а падает. Дестабилизирующие связи встречаются и в обычных конструкциях, но намного чаще ими обладают системы с односторонними связями. Конструкция 2 теряет устойчивость при $q_{кр} \equiv q^B = q^H = 16,6917 EI/l^3$. Никакой опасности перескока не существует, поскольку при любой величине q отрыва стоек от основания не будет. Функционирует только одна рабочая система, совпадающая с исходной конструкцией.

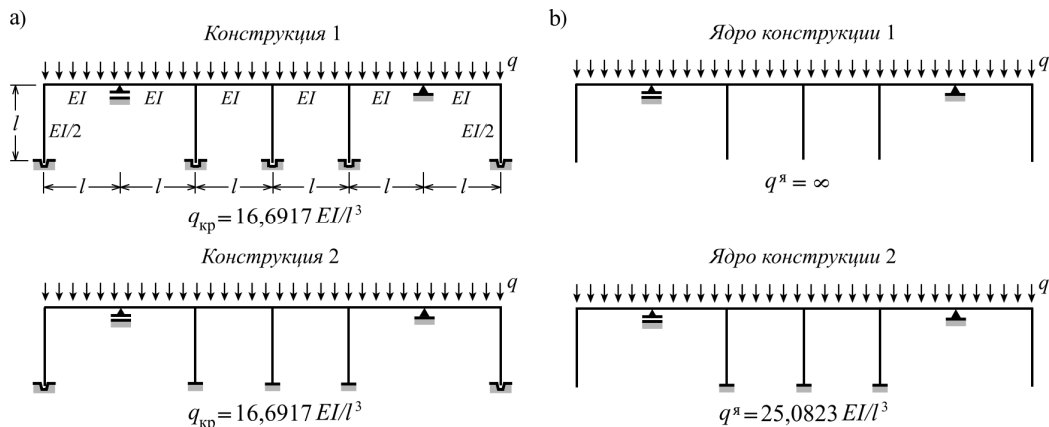


Рис. 1. Примеры конструкций, которые менее устойчивы, чем их ядра

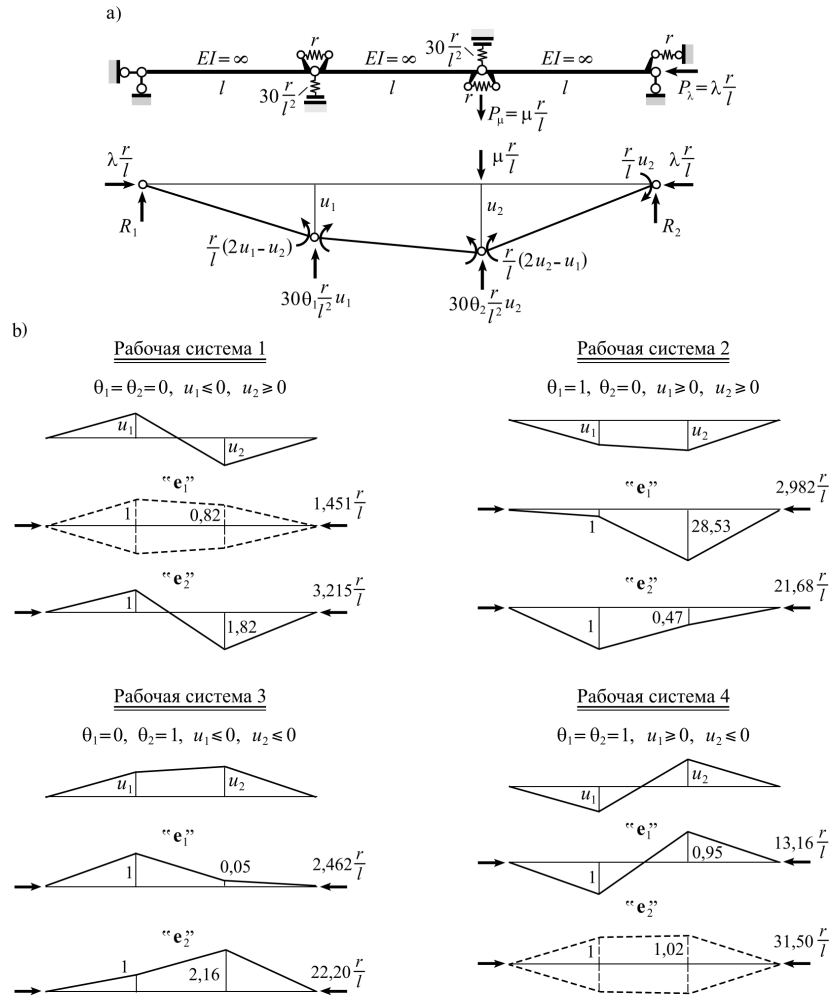


Рис. 2. Конструкция с двумя степенями свободы и ее рабочие системы

Опасаться перескока придется лишь тогда, когда в ходе наращивания нагрузок P_μ и P_λ при некотором значении $\lambda = \lambda^*$ происходит переключение односторонних связей еще до того, как начальная рабочая система потеряет устойчивость. Приходится выяснять, имеются ли такие рабочие системы, которые допускают существование собственных векторов при собственных значениях, не превышающих величины λ^* . Как показал приведенный выше пример, судить об этом, опираясь на знание критической силы ядра, небезопасно, да и не у всех систем с односторонними связями имеется ядро. В общем случае надежен только один подход: задача на собственные значения должна быть решена для всех рабочих систем конструкции. При большом числе односторонних связей это сделать не удастся, но для иллюстрации того факта, что без полного перебора рабочих систем не обойтись, достаточно рассмотреть пример расчета на устойчивость системы с небольшими числами односторонних связей и степеней свободы.

Изображенная на рис. 2а конструкция состоит из трех абсолютно жестких элементов, связанных между собой упруго податливыми шарнирами, в

которых возникает реактивный момент r при взаимном повороте соединяемых элементов на единицу. Эта конструкция с двумя степенями свободы имеет две односторонние связи, способные воспринимать лишь растяжение. Жесткость связей равна величине $30r/l^2$. На рис. 2 также указаны воздействия $P_\mu = \mu r/l$, $P_\lambda = \lambda r/l$ и расчетная схема, отвечающая отклоненному положению равновесия. В качестве параметров состояния приняты узловые перемещения u_1 и u_2 . Через θ_i обозначен индекс состояния односторонней связи: $\theta_i = 1$, если связь с номером i активна, и $\theta_i = 0$, если указанная связь пассивна. Сказанное далее относится к случаю, когда нагрузка P_μ прикладывается не позже того момента времени, как начала действовать сила P_λ .

Прежде всего отыскивается рабочая система, воспринимающая воздействие P_μ при $\lambda = 0$, ибо именно она первой включается в процесс деформирования при наращивании параметров μ и λ . При любом $\mu \neq 0$ этот процесс начинается с отклонения правой односторонней связи и включения левой связи, то есть при $u_1 \geq 0$ и $u_2 \geq 0$. По рис. 2б видно, что таким условиям отвечает рабочая система, получившая номер 2.

На рис. 2b приведены и все остальные рабочие системы вместе с результатами решения задачи на собственные значения. Видно, что оба собственных вектора рабочей системы 2 (как и рабочей системы 3) не противоречат характеру односторонних связей, тогда как в рабочих системах 1 и 4 реализоваться могут только по одному собственному вектору из двух. Рабочая система 2 теряет устойчивость при $\lambda = 2,982$ и любом $\mu > 0$, в чем можно убедиться, анализируя систему уравнений равновесия, составленную для деформированной схемы конструкции:

$$\left. \begin{aligned} (20\theta_1 + 2 - \lambda)u_1 + (10\theta_2 - 2/3)u_2 &= \mu l/3, \\ (10\theta_1 - 1)u_1 + (20\theta_2 + 8/3 - \lambda)u_2 &= 2\mu l/3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь надо положить $\theta_1 = 1, \theta_2 = 0$. Можно также проверить, что с увеличением параметра $\lambda \in [0, 2,982]$ односторонние связи не переключаются, а при $\lambda \in (2,982, 17,5]$ и $\lambda \geq 21,685$ рабочая система 2 равновесных состояний не имеет (рис. 3).

Итак, критическое состояние конструкции обнаружено, но его статус пока неясен. Требуется выполнить анализ всех остальных рабочих систем. Ядром конструкции является рабочая система 1: обе односторонние связи отключены ($\theta_1 = \theta_2 = 0$), и система неизменяема. Выше уже отмечалось, что к первому собственному числу ядра как к нижней оценке критической силы конструкции в целом следует относиться с осторожностью. Но в данном случае это неважно, так как первый собственный вектор рабочей системы 1 нереализуем. Вектору e_2 отвечает собственное значение $\lambda = 3,215$. Оно превышает найденное ранее критическое значение $\lambda = 2,982$ параметра λ для рабочей системы 2. Анализ решений уравнений (1) при $\theta_1 = \theta_2 = 0$ приводит к выводу, что функционирование рабочей системы 1 возможно лишь тогда, когда $\lambda \in [2,5, 3,215]$.

Что же касается рабочей системы 3, то односторонние связи не препятствуют реализации обоих собственных векторов, при этом ее первое собственное число $\lambda = 2,462$ меньше первого собственного числа рабочей системы 2. Если $\mu > 0$, то рабочая система 3 имеет согласованные с характером односторонних связей перемещения только тогда, когда $\lambda \geq 22,204$. Стало

быть, для перескока при $22,204 > \lambda > 2,462$ из равновесного состояния рабочей системы 2 в равновесное состояние рабочей системы 3 требуется дополнительный приток энергии извне. (Такой приток, в частности, может обеспечить и сама сила P_λ , будь она приложена с эксцентриситетом, обусловленным начальными несовершенствами.) Об источнике дополнительной энергии и о ее величине ничего конкретного сказать нельзя, если оставаться на уровне решения линеаризованной задачи устойчивости.

У рабочей системы 4 первое собственное число слишком велико, а потому анализ ее равновесных состояний интереса не представляет. Таким образом, согласно решению линеаризованной задачи,

$$\lambda^H = 2,462; \quad \lambda^B = 2,982. \quad (2)$$

И все же уверенным можно быть только в отношении верхней критической силы, тогда как величину $\lambda^H = 2,462$ можно рассматривать только в качестве приближенного значения нижней критической силы при совершенно неопределенных шансах ее реализации. В самом деле, при $\mu \neq 0$ собственный вектор, отвечающий собственному числу $\lambda^H = 2,462$, не является равновесным.

Необходимо также обратить внимание на то, что в ходе решения линеаризованной задачи можно проанализировать далеко не все равновесные состояния конструкции.

На рис. 3 жирными горизонтальными линиями выделены интервалы изменения параметра λ , на которых рабочие системы 1–4 способны поддерживать состояния равновесия, согласованные с характером односторонних связей. Кружками отмечены собственные значения задач устойчивости рабочих систем. Полые (кольцевые) кружки отвечают реализуемым собственным значениям. Зоны, в которых равновесные состояния отсутствуют («мертвые зоны»), затенены. Речь идет об интервалах $3,125 < \lambda < 13,146$ и $21,685 < \lambda < 22,205$. Кроме того, наблюдается неединственность решения: на интервале $2,5 \leq \lambda \leq 2,982$ равновесные состояния конструкции поддерживают рабочая система 1 и рабочая система 2. Все это свидетельствует о необходимости обращения к решению нелинейной задачи.

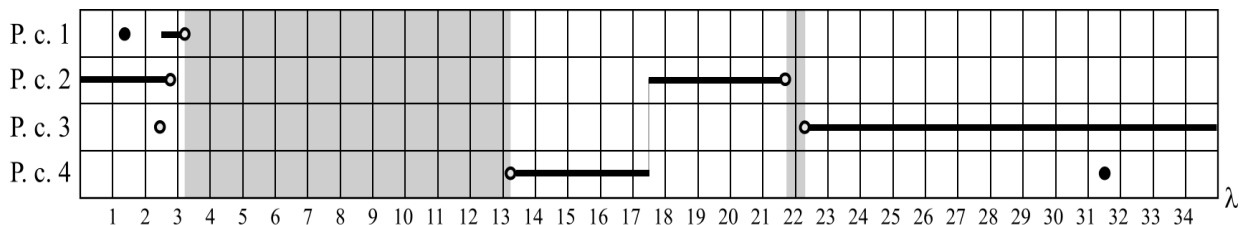


Рис. 3. Диапазон равновесных состояний рабочих систем по параметру λ при $\mu > 0$

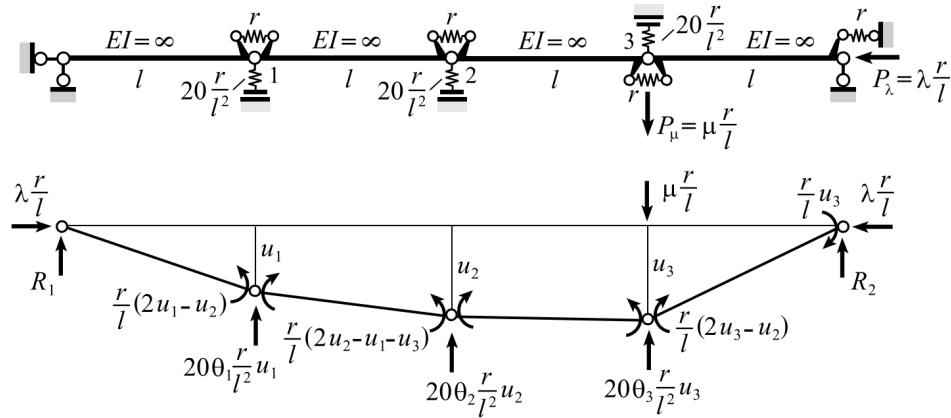


Рис. 4. Система с тремя степенями свободы и тремя односторонними связями

Условия функционирования систем сравнения

Система сравне- ния	Индексы включения связей			Допускаемые знаки перемещений			Собственные значения		
	θ_1	θ_2	θ_3	u_1	u_2	u_3	λ_1	λ_2	λ_3
1	0	0	0	–	–	+	0,924028	2,305658	3,520315
2	0	1	0	–	+	+	2,181729	3,284064	21,284208
3	0	0	1	–	–	–	1,417248	3,189862	17,142891
4	0	1	1	–	+	–	2,422691	10,259547	29,067762
5	1	0	0	+	–	+	1,973569	3,307414	16,469018
6	1	1	0	+	+	+	2,949084	10,056748	28,744169
7	1	0	1	+	–	–	2,946064	12,236662	21,567274
8	1	1	1	+	+	–	9,338002	12,251405	35,160593

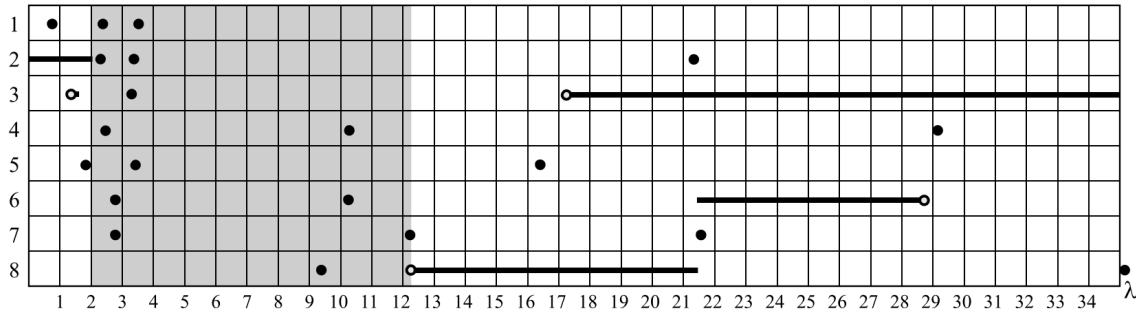
Система, изображенная на рис. 4, заимствована из монографии [2]. По сравнению с рассмотренной ранее конструкцией у нее на одну одностороннюю связь больше и на единицу больше число степеней свободы. У новой конструкции имеются 8 подконструкций – систем сравнения, претендующих на роль рабочих систем. В таблице указаны результаты решения задачи на собственные значения для каждой системы сравнения. Собственные числа, которым отвечают собственные векторы, не противоречащие характеру односторонних связей, выделены жирным шрифтом. Видно, что при $\mu = 0$ существуют только три рабочие системы – это системы сравнения 3, 6 и 8, и что устойчивость теряет первая из них: $\lambda_{кр} = 1,417248$. Но если $\mu > 0$, то ограничиться анализом деформирования только рабочими системами 3, 6 и 8 нельзя, ибо при $\mu \neq 0$ в зависимости от значения параметра λ роль рабочей системы может взять на себя любая из систем сравнения.

Анализу подлежат решения системы уравнений равновесия, составленных для деформированной схемы конструкции (рис. 4):

$$\left. \begin{aligned} (15\theta_1 + 2 - \lambda)u_1 + (10\theta_2 - 1)u_2 + (5\theta_3 + 1/4)u_3 &= \mu l / 4, \\ (10\theta_1 - 1)u_1 + (20\theta_2 + 2 - \lambda)u_2 + (10\theta_3 - 1/2)u_3 &= \mu l / 2, \\ 5u_1 + (10\theta_2 - 1)u_2 + (15\theta_3 + 11/4 - \lambda)u_3 &= 3\mu l / 4. \end{aligned} \right\} (3)$$

Результаты анализа представлены на рис. 5, который выполнен в том же духе, что и рис. 3.

Напомним, что рассматриваются только такие истории нагружения, при которых воздействие P_μ прикладывается до того, как хотя бы одна из рабочих систем теряет устойчивость. Тогда первой начнет деформироваться та система сравнения, которая является рабочей системой при нагрузке P_μ и $\lambda = 0$. В данном случае это рабочая система 2. По рис. 5 видно, что воздействие P_λ воспринимается этой рабочей системой только до тех пор, пока $\lambda \leq 2$, тогда как рабочими системами, воспринимающими сжимающую силу при $2 < \lambda < 12,25$, нет вообще. Это означает, что вопрос о верхней критической силе остается открытым, так как величина $\lambda = 2$ меньше первого собственного числа рабочей системы 2. Однако если параметр нагружения λ принадлежит диапазону $[1,417248 \ 2]$ и возможен приток энергии извне, то существует вероятность перескока из состояния равновесия, поддерживаемого рабочей системой 2, в равновесное состояние рабочей системы 3. Это позволяет рассматривать величину $\lambda^H = 1,4172482$ как ориентир для параметра, характеризующего нижнюю критическую силу. Ничего более определенного по результатам решения линеаризованной задачи устойчивости сказать нельзя.

Рис. 5. Диапазон равновесных состояний систем сравнения по параметру λ при $\mu > 0$

Несколько слов о неединственности состояний равновесия конструкции с односторонними связями при наличии воздействий P_λ и P_μ . На рис. 3 и 5 видны интервалы значений параметра λ , на которых одно и то же воздействие может быть воспринято разными рабочими системами. Так (рис. 3), при $2,982 \leq \lambda \leq 3,125$ заданная нагрузка может быть уравновешена реакциями как рабочей системы 1, так и реакциями рабочей системы 2. На рис. 5 имеются две зоны неединственности: при $17,143 \leq \lambda \leq 21,500$ способны функционировать рабочие системы 3 и 8, а при $21,500 \leq \lambda \leq 28,144$ – рабочие системы 3 и 6.

Собственно говоря, именно неединственность состояний равновесия конструкции и обеспечивает возможность обсуждаемого перескока. Он может реализоваться двумя способами. О первом из них говорилось при анализе устойчивости конструкции, изображенной на рис. 2. Нижняя критическая сила этой конструкции совпадает с критической силой рабочей системы 3. Однако точка ее реализации при наличии воздействия P_μ является изолированной (рис. 3): она отвечает только состоянию $\mu = 0$, $\lambda = 2,462$. Поэтому перескок из положения равновесия рабочей системы 2, в которой реализуется верхняя критическая сила, в состояние равновесия рабочей системы 3 возможен лишь при наличии постоянно действующего фактора, способствующего появлению в рабочей системе 3 допустимых положений равновесия. Как было отмечено выше, таким фактором могут быть начальные несовершенства, в частности эксцентриситет осевой силы или начальная погибь. Но этого мало. Нужен еще внешний импульс, обеспечивающий сам пере-

скок после того, как были созданы условия для его реализации.

Если же точка бифуркации, отвечающая нижней критической силе, изолированной не является (см. информацию о рабочей системе 3 на рис. 5), то для перескока требуется только дополнительный импульс.

Однако при любом способе своей реализации сам перескок не является свидетельством потери устойчивости конструкции: например, в случае, когда сопряженные по перескоку состояния устойчивы, а принадлежащие им перемещения малы, хотя и различны.

Сказанное иллюстрирует рис. 6. Перескок происходит при некотором $\lambda^* \in [\lambda^H, \lambda^B]$ из рабочей системы 2 в рабочую систему 1. Соответствующим равновесным состояниям отвечают изображающие точки A и B . Оба состояния устойчивы, первое из них докритическое (рабочая система 2), а второе – послекритическое (рабочая система 1). Если после перескока наращивать осевую силу, то точка B будет смещаться вправо до тех пор (до положения C на рисунке), пока рабочая система 1 обладает равновесными состояниями. А уменьшение параметра λ после перескока действительно может привести к потере устойчивости по достижению изображающей точки позиции D .

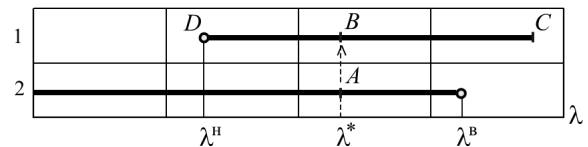


Рис. 6. К неединственности состояний равновесия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн Ю. Б. Полная потенциальная энергия конструкции с односторонними связями и ее использование при решении задачи устойчивости // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2009. № 11(105). С. 56–63.
2. Ляхович Л. С. Метод отделения критических сил и собственных частот упругих систем. Томск: ТГУ, 1970. 192 с.
3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Т. 2. М.: СКАД СОФТ, 2010. 664 с.

УДК 624.014.074 : 539.4

АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ РОЧЕВ

кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета, Петрозаводский государственный университет
metalll@bk.ru

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ РАСЧЕТ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ

В работе получено решение задачи пространственного деформационного расчета неупругих составных стержней, имеющих переменное поперечное сечение и переменную жесткость связей сдвига по длине. В основу решения положена теория составных стержней А. Р. Ржаницына. Используются полученные нами ранее выражения для определения модулей деформаций, учитывающих сжимаемость осей ветвей, деформации сдвига материала ветвей, составляющих стержень, развитие неупругих линейных деформаций в них. Учтена переменная жесткость неупругого составного стержня на кручение.

Ключевые слова: пространственный деформационный расчет, тонкостенные профили, эквивалентные модули деформаций, жесткости на кручение

В настоящей статье исследуется поведение под нагрузкой пространственно-деформируемого составного упругопластического стержня, имеющего переменное сечение по длине. Тонкостенные ветви открытого профиля, составляющие стержень, соединены между собой структурными связями в виде раскосов, распорок, планок или перфорированных листов. В работе применяются основные положения общей теории составных стержней, разработанной А. Р. Ржаницыным [4]. Для материала ветвей составного стержня устанавливается произвольная зависимость между деформациями и напряжением. Используется гипотеза о нелинейно-упругом материале, основанная на теореме, доказанной Л. М. Качановым в [2], согласно которой при активной пластической деформации поведение упругопластического тела неотлично от поведения нелинейно-упругого тела.

Исследование стержня базируется на использовании системы дифференциальных уравнений, полученных в [4] и описывающих напряженно-деформированное состояние упругого пространственно работающего составного стержня постоянного сечения по длине с упругоподатливыми связями сдвига, имеющими постоянную жесткость по длине стержня, и абсолютно жесткими поперечными связями. Геометрическая неизменяемость поперечного сечения стержня обеспечивается часто поставленными поперечными диафрагмами жесткости. Эта система уравнений предназначена для определения усилий в продольных связях сдвига в $\bar{n}$ швах составного стержня. В данной работе осуществлена замена указанной системы дифференциальных уравнений системой уравнений в конечных разностях [3], в которую введены параметры, учитывающие физическую и геометрическую нелинейность решаемой задачи. Ось составного стержня делится по длине на m равных частей с образо-

ванием участков между смежными сечениями j и $(j+1)$ длиной c . Используется метод шагового нагружения конструкций [1].

Полная система дифференциальных уравнений, включающая в себя уравнения приращения сдвигов в швах составного стержня и уравнение стесненного кручения составного стержня в целом, в конечно-разностной форме примет вид

$$\begin{aligned} \Delta^2 T_{igj}^{(k)} / (c^2 \xi_{igj}^{(k)}) = & T_{igj}^{(k)} \delta_{igj,igj}^{(k)} + \sum_{l=1}^{a_{ig}} T_{ilj}^{(k)} \delta_{igj,ilj}^{(k)} + \\ & + \sum_{r=1}^{b_{ig}} T_{grj}^{(k)} \delta_{igj,grj}^{(k)} + \sum_{l,u=1}^{c_{ig}} T_{luj}^{(k)} \delta_{igj,luj}^{(k)} + \delta_{igj,0}^{(k)} - \\ & - \theta_j^{(k)} C_{ij}^{(k)} \Delta \omega_{igj}^{(k)} / C_{\omega j}^{(k)}, \\ C_{\omega j}^{(k)} \Delta^2 \theta_j^{(k)} / c^2 - C_{ij}^{(k)} \theta_j^{(k)} = & -B_{\omega j}^{(k)} - \sum_{ig=l}^{\bar{n}} T_{igj}^{(k)} \omega_{igj}^{(k)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\xi_{igj}^{(k)}$ – коэффициент жесткости связей сдвига ig -го шва, соединяющего между собой i -ю и g -ю ветви составного стержня, на k -м шаге нагружения; $T_{igj}^{(k)}$ – суммарное сдвигающее усилие в ig -м шве, накапливаемое по длине составного стержня от его начала до j -го поперечного сечения;

$$T_{igj}^{(k)} = \int_0^{z_j} \tau_{ig}^{(k)} dz, \quad (2)$$

здесь $\tau_{ig}^{(k)}$ – сдвигающие усилия, действующие в ig -м шве составного стержня на k -м шаге нагружения;

$$\Delta^2 T_{igj}^{(k)} = T_{ig,j+1}^{(k)} - 2T_{igj}^{(k)} + T_{ig,j-1}^{(k)}, \quad (3)$$

$$\Delta^2 \theta_j^{(k)} = \theta_{j+1}^{(k)} - 2\theta_j^{(k)} + \theta_{j-1}^{(k)}; \quad (4)$$

a_{ig} – число связей сдвига, соединяющих i -й стержень с другими стержнями (не считая g -го стержня); b_{ig} – число связей сдвига, соединяющих g -й стержень с другими стержнями (не считая i -го стержня); c_{ig} – число связей сдвига, не примыкающих ни к i -му, ни к g -му стержню.

Коэффициенты при неизвестных и нагрузочный член в (1) определяются из выражений

$$\begin{aligned}\delta_{igj,igj}^{(k)} &= \frac{(\Delta\omega_{igj}^{(k)})^2}{C_{\omega j}^{(k)}} + \frac{(\Delta y_{igj}^{(k)})^2}{\sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k)} J_{xdj}} + \frac{(\Delta x_{igj}^{(k)})^2}{\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k)} J_{yjd}} + \frac{1}{E_{cija}^{(k)} A_{ij}} - \frac{1}{E_{cgja}^{(k)} A_{gj}}, \\ \delta_{igj,ilj}^{(k)} &= \frac{\Delta\omega_{igj}^{(k)} \Delta\omega_{ilj}^{(k)}}{C_{\omega j}^{(k)}} + \frac{\Delta y_{igj}^{(k)} \Delta y_{ilj}^{(k)}}{\sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k)} J_{xdj}} + \frac{\Delta x_{igj}^{(k)} \Delta x_{ilj}^{(k)}}{\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k)} J_{yjd}} + \frac{1}{E_{cija}^{(k)} A_{ij}}, \\ \delta_{igj,grj}^{(k)} &= \frac{\Delta\omega_{igj}^{(k)} \Delta\omega_{grj}^{(k)}}{C_{\omega j}^{(k)}} + \frac{\Delta y_{igj}^{(k)} \Delta y_{grj}^{(k)}}{\sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k)} J_{xdj}} + \frac{\Delta x_{igj}^{(k)} \Delta x_{grj}^{(k)}}{\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k)} J_{yjd}} - \frac{1}{E_{cgja}^{(k)} A_{gj}}, \\ \delta_{igj,luj}^{(k)} &= \frac{\Delta\omega_{igj}^{(k)} \Delta\omega_{luj}^{(k)}}{C_{\omega j}^{(k)}} + \frac{\Delta y_{igj}^{(k)} \Delta y_{luj}^{(k)}}{\sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k)} J_{xdj}} + \frac{\Delta x_{igj}^{(k)} \Delta x_{luj}^{(k)}}{\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k)} J_{yjd}}, \\ \delta_{igj,0}^{(k)} &= \frac{B_{\omega j}^{(k)} \Delta\omega_{igj}^{(k)}}{C_{\omega j}^{(k)}} + \frac{M_{xj}^{(k)} \Delta y_{igj}}{\sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k)} J_{xdj}} + \frac{M_{yj}^{(k)} \Delta x_{igj}}{\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k)} J_{yjd}} + \frac{N_{ij}^{(k)}}{E_{cija}^{(k)} A_{ij}} - \frac{N_{gj}^{(k)}}{E_{cgja}^{(k)} A_{gj}},\end{aligned}\quad (5)$$

где $\Delta\omega_{igj}^{(k)}$, $\Delta\omega_{ilj}^{(k)}$, $\Delta\omega_{grj}^{(k)}$ и $\Delta\omega_{luj}^{(k)}$ – разности секториальных координат положения швов в j -м поперечном сечении, отнесенные к стержням i и g , i и l , g и r , l и u соответственно при k -м шаге нагружения (ветви l и u не являются ни i -ми, ни g -ми ветвями); Δx_{igj} и Δy_{igj} , Δx_{ilj} и Δy_{ilj} , Δx_{luj} и Δy_{luj} , Δx_{grj} и Δy_{grj} – разности координат центров тяжести j -х поперечных сечений ветвей i и g , i и l , g и r , l и u , составляющих стержень; $E_{1dj}^{equ(k)}$ и $E_{2dj}^{equ(k)}$ – эквивалентные модули деформаций для j -го поперечного сечения d -й ветви составного стержня, учитывающие сжимаемость оси ветвей стержня, влияние деформаций сдвига материала ветвей и развитие пластических деформаций при их изгибе в плоскостях yOz и xOz соответственно на k -м шаге нагружения; $E_{cija}^{(k)}$ и $E_{cgja}^{(k)}$ – секущие модули деформаций для осевых волокон j -х поперечных сечений i -й и g -й ветвей стержня соответственно при k -м шаге нагружения; A_{ij} и A_{gj} – площади j -го поперечного сечения ветвей i и g соответственно; J_{ij} и J_{gj} – экваториальные моменты инерции j -го поперечного сечения ветвей i и g соответственно; $B_{\omega j}^{(k)}$ – внешний бимомент в j -м поперечном сечении составного стержня на k -м шаге нагружения; $M_{xj}^{(k)}$ и $M_{yj}^{(k)}$ – изгибающие моменты в j -м поперечном сечении составного стержня от внешней нагрузки при изгибе в плоскостях yOz и xOz соответственно на k -м шаге нагружения; $N_{ij}^{(k)}$ и $N_{gj}^{(k)}$ – продольные силы в j -м попереч-

ном сечении ветвей i и g составного стержня от внешней нагрузки на k -м шаге нагружения; $C_{\omega j}^{(k)}$ и $C_{ij}^{(k)}$ – жесткости при стесненном и чистом кручении соответственно j -го поперечного сечения составного стержня при k -м шаге нагружения.

Выражения для определения $E_{1dj}^{equ(k)}$ и $E_{2dj}^{equ(k)}$ были получены и опубликованы нами ранее [5]:

$$E_{1dj}^{equ(k)} = \frac{M_{xdj}^{(k-1)} h_{yjd} (1 - \varepsilon_{odj}^{(k-1)})}{(\Delta \bar{\varepsilon}_{12dj}^{(k-1)} - \gamma_{yjd}^{(k-1)} h_{yjd} Q_{yjd}^{(k-1)}) J_{xdj}}, \quad (6)$$

$$E_{2dj}^{equ(k)} = \frac{M_{yjd}^{(k-1)} h_{xdj} (1 - \varepsilon_{odj}^{(k-1)})}{(\Delta \bar{\varepsilon}_{23dj}^{(k-1)} - \gamma_{xdj}^{(k-1)} h_{xdj} Q_{xdj}^{(k-1)}) J_{yjd}}, \quad (7)$$

где $M_{xdj}^{(k-1)}$ и $M_{yjd}^{(k-1)}$ – изгибающие моменты в j -м сечении d -й ветви стержня, возникающие при изгибе в плоскостях yOz и xOz соответственно на $(k-1)$ -м шаге нагружения; h_{yjd} и h_{xdj} – высота j -го поперечного сечения d -й ветви стержня при изгибе в плоскостях yOz и xOz соответственно; $\varepsilon_{odj}^{(k-1)}$ – линейная деформация оси d -й ветви в j -м сечении при k -м шаге нагружения;

$$\begin{aligned}\Delta \bar{\varepsilon}_{12dj}^{(k-1)} &= \bar{\varepsilon}_{1dj}^{(k-1)} - \bar{\varepsilon}_{2dj}^{(k-1)}; \quad \Delta \bar{\varepsilon}_{23dj}^{(k-1)} = \bar{\varepsilon}_{2dj}^{(k-1)} - \bar{\varepsilon}_{3dj}^{(k-1)}, \\ \bar{\varepsilon}_{1dj}^{(k-1)}, \bar{\varepsilon}_{2dj}^{(k-1)} &\text{ и } \bar{\varepsilon}_{3dj}^{(k-1)} -\end{aligned}$$

краевые линейные деформации в трех продольных волокнах поперечного сечения d -й ветви, возникающие в соответствии с гипотезой плоских сечений от продольной силы $N_{dj}^{(k-1)}$, изгибающих моментов $M_{xdj}^{(k-1)}$ и $M_{yjdj}^{(k-1)}$, действующих в двух главных плоскостях инерции j -го поперечного сечения; $\gamma_{yldj}^{(k-1)}$ и $\gamma_{xldj}^{(k-1)}$ – углы сдвига на j -м участке d -й ветви стержня от единичной поперечной силы при изгибе в плоскостях yOz и xOz соответственно на $(k-1)$ -м шаге нагружения; $Q_{yjdj}^{(k-1)}$ и $Q_{xdj}^{(k-1)}$ – первые производные от поперечных сил, действующих в j -м сечении d -й ветви стержня при изгибе в плоскостях yOz и xOz соответственно на $(k-1)$ -м шаге нагружения, которые в конечно-разностной форме имеют вид:

$$Q_{yjdj}^{(k-1)} \approx (Q_{yd,j+1}^{(k-1)} - Q_{yd,j-1}^{(k-1)}) / (2c), \quad (8)$$

$$Q_{xdj}^{(k-1)} \approx (Q_{xd,j+1}^{(k-1)} - Q_{xd,j-1}^{(k-1)}) / (2c). \quad (9)$$

Для определения деформаций $\bar{\epsilon}_{1dj}^{(k-1)}$, $\bar{\epsilon}_{2dj}^{(k-1)}$, $\bar{\epsilon}_{3dj}^{(k-1)}$ и $\epsilon_{odj}^{(k-1)}$ контур s j -го поперечного сечения ветвей стержня делится на p участков с v -м волокном на границах смежных участков. Линейная деформация в каждом v -м волокне j -го поперечного сечения d -й ветви составного стержня $\epsilon_{dju}^{(k-1)}$ является функцией следующих параметров:

$$\epsilon_{dju}^{(k-1)} = \epsilon_{dju}^{(k-1)}(\bar{\epsilon}_{1dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{2dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{3dj}^{(k-1)}, \epsilon_{odj}^{(k-1)}), \quad (10)$$

где $\epsilon_{odj}^{(k-1)}$ – линейная деформация от стесненного кручения в v -м волокне j -го поперечного сечения d -й ветви составного стержня при $(k-1)$ -м шаге нагружения.

Параметры, от которых зависит функция $\epsilon_{dju}^{(k-1)}$, определяются из решения системы уравнений равновесия

$$\begin{aligned} N_{dj}^{\text{int}(k-1)}(\bar{\epsilon}_{1dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{2dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{3dj}^{(k-1)}, \epsilon_{odj}^{(k-1)}) &= N_{dj}^{(k-1)}, \\ M_{xdj}^{\text{int}(k-1)}(\bar{\epsilon}_{1dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{2dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{3dj}^{(k-1)}, \epsilon_{odj}^{(k-1)}) &= M_{xdj}^{(k-1)}, \\ M_{yjdj}^{\text{int}(k-1)}(\bar{\epsilon}_{1dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{2dj}^{(k-1)}, \bar{\epsilon}_{3dj}^{(k-1)}, \epsilon_{odj}^{(k-1)}) &= M_{yjdj}^{(k-1)}, \quad (11) \\ C_{\omega j}^{(k-1)} \Delta^3 \theta_j^{(k-1)} / c^3 - C_{\eta j}^{(k-1)} \Delta \theta_j^{(k-1)} / c &= -M_{\eta j}^{(k-1)} \\ \epsilon_{odj}^{(k-1)} &= -\Delta^2 \theta_j^{(k-1)} \omega_{dju}^{(k-1)} / c^2, \end{aligned}$$

где $N_{dj}^{\text{int}(k-1)}$, $M_{xdj}^{\text{int}(k-1)}$, $M_{yjdj}^{\text{int}(k-1)}$ – выражения для определения главного вектора и главных моментов эпюры нормальных напряжений в j -м поперечном сечении d -й ветви после $(k-1)$ -го шага нагружения; $N_{dj}^{(k-1)}$, $M_{xdj}^{(k-1)}$, $M_{yjdj}^{(k-1)}$ – продольные сила и изгибающие моменты, действующие в главных плоскостях j -го поперечного сечения d -й ветви, полученные при $(k-1)$ -м

шаге нагружения составного стержня; $M_{\eta j}^{(k-1)}$ – крутящий момент в j -м поперечном сечении составного стержня, полученный при $(k-1)$ -м шаге нагружения; $\omega_{dju}^{(k-1)}$ – секториальная координата места расположения v -го волокна j -го поперечного сечения d -й ветви составного стержня при $(k-1)$ -м шаге нагружения;

$$\begin{aligned} \theta_j^{(k-1)} &= (\theta_{j+1}^{(k-1)} - \theta_{j-1}^{(k-1)}) / 2, \\ \Delta^3 \theta_j^{(k-1)} &= (\theta_{j+2}^{(k-1)} - 2\theta_{j+1}^{(k-1)} + 2\theta_{j-1}^{(k-1)} - \theta_{j-2}^{(k-1)}) / 2. \quad (12) \end{aligned}$$

Выражения для определения жесткостей $C_{\omega j}^{(k)}$ и $C_{\eta j}^{(k)}$ имеют вид:

$$C_{\omega j}^{(k)} = \sum_{d=1}^n \sum_{v=1}^p \int \bar{E}_{cdj}^{(k-1)}(s) \bar{J}_{odj}^{(k-1)}(s) ds, \quad (13)$$

$$C_{\eta j}^{(k)} = \sum_{d=1}^n \sum_{v=1}^p \int \bar{G}_{dj}^{(k-1)}(s) \bar{J}_{tdj}(s) ds, \quad (14)$$

где $\bar{E}_{cdj}^{(k-1)}(s)$ – функция, построенная путем интерполяции по значениям секущего модуля $E_{cdju}^{(k-1)}$ в узловых точках v контура s j -го поперечного сечения d -й ветви при $(k-1)$ -м шаге нагружения; $\bar{J}_{odj}^{(k-1)}(s)$ – момент инерции при стесненном кручении единицы длины линии профиля s j -го поперечного сечения d -й ветви при $(k-1)$ -м шаге нагружения; $\bar{G}_{dj}^{(k-1)}(s)$ – функция, построенная путем интерполяции по значениям модуля сдвига $G_{dju}^{(k-1)}$ в узловых точках v контура s j -го поперечного сечения d -й ветви при $(k-1)$ -м шаге нагружения; $\bar{J}_{tdj}^{(k-1)}(s)$ – момент инерции при чистом кручении единицы длины линии профиля s j -го поперечного сечения d -й ветви при $(k-1)$ -м шаге нагружения; s_v – длина v -го участка контура s поперечного сечения.

Величина $E_{cdju}^{(k-1)}$ определяется по диаграмме деформирования материала d -й ветви в зависимости от $\epsilon_{dju}^{(k-1)}$, получаемой при решении системы (11).

Модули $G_{dju}^{(k-1)}$ и $E_{cdju}^{(k-1)}$ связаны между собой зависимостью

$$G_{dju}^{(k-1)} = \frac{E_{cdju}^{(k-1)}}{2(1 + \mu_{dju}^{(k-1)})}, \quad (15)$$

где $\mu_{dju}^{(k-1)}$ – коэффициент Пуассона, определяемый по формуле:

$$\mu_{dju}^{(k-1)} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{E_{cdju}^{(k-1)}(1 - 2\mu_o)}{E_o}, \quad (16)$$

здесь E_o и μ_o – модуль деформаций Юнга и коэффициент Пуассона в начальной точке диаграммы деформирования материала.

Положение центра жесткости в j -м поперечном сечении составного стержня, необходимое для определения $\omega_{div}^{(k-1)}$ и $J_{\omega dj}^{(k-1)}(s)$, устанавливается относительно произвольной декартовой системы координат x и y с использованием выражений

$$c_{xj}^{(k-1)} = (\Pi_{3j}^{(k-1)} - \Pi_{4j}^{(k-1)}) / (\Pi_{1j}^{(k-1)} - \Pi_{2j}^{(k-1)}), \quad (17)$$

$$c_{yj}^{(k-1)} = (\Pi_{5j}^{(k-1)} - \Pi_{6j}^{(k-1)}) / (\Pi_{1j}^{(k-1)} - \Pi_{2j}^{(k-1)}), \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} \Pi_{1j}^{(k-1)} &= \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xdj} \cdot \sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{yjd}, \\ \Pi_{2j}^{(k-1)} &= \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} \cdot \sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{xydj}, \\ \Pi_{3j}^{(k-1)} &= \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xdj} \left(\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{yjd} b_{xdj} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} b_{yjd} \right), \\ \Pi_{4j}^{(k-1)} &= \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} \left(\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{yjd} b_{xdj} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} b_{yjd} \right), \\ \Pi_{5j}^{(k-1)} &= \sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{yjd} \left(\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} b_{xdj} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xdj} b_{yjd} \right), \\ \Pi_{6j}^{(k-1)} &= \sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} \left(\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k-1)} J_{yjd} b_{xdj} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k-1)} J_{xydj} b_{yjd} \right), \end{aligned} \quad (19)$$

где b_{xdj} и b_{yjd} – координаты центра тяжести j -го поперечного сечения d -й ветви относительно

осей x и y соответственно; J_{xdj} и J_{yjd} – экваториальные моменты инерции j -го поперечного сечения d -й ветви относительно осей x и y соответственно; J_{xydj} и J_{yxjd} – центробежные моменты инерции j -го поперечного сечения d -й ветви относительно осей x и y соответственно.

Коэффициенты жесткости связей сдвига $\xi_{ij}^{(k)}$ определяются по формулам, приведенным в [4], но с использованием за пределом упругости эквивалентного модуля деформаций, если элементы связей работают на изгиб (по аналогии с $E_{1dj}^{equ(k)}$ или $E_{2dj}^{equ(k)}$), и секущего модуля деформаций, если элементы связей работают на осевую силу (по аналогии с $E_{cija}^{(k)}$ или $E_{sgja}^{(k)}$).

Для определения перемещений составного стержня $\zeta_j^{(k)}$ и $\eta_j^{(k)}$ в плоскостях yOz и xOz система уравнений (1) дополняется уравнениями изгиба

$$\sum_{d=1}^n E_{1dj}^{equ(k)} J_{xdj} \cdot \Delta^2 \zeta_j^{(k)} / c^2 + \sum_{ig=1}^{\bar{n}} T_{ig}^{(k)} \Delta y_{igj}^{(k)} + \bar{M}_{xj}^{(k)} = 0, \quad (20)$$

$$\sum_{d=1}^n E_{2dj}^{equ(k)} J_{yjd} \cdot \Delta^2 \eta_j^{(k)} / c^2 + \sum_{ig=1}^{\bar{n}} T_{ig}^{(k)} \Delta x_{igj}^{(k)} + \bar{M}_{yj}^{(k)} = 0, \quad (21)$$

где $\bar{M}_{xj}^{(k)}$ и $\bar{M}_{yj}^{(k)}$ – выражения для определения изгибающих моментов в главных плоскостях инерции j -го поперечного сечения стержня, составленные с учетом влияния перемещений $\zeta_j^{(k)}$, $\eta_j^{(k)}$ и $\theta_j^{(k)}$;

$$\Delta^2 \zeta_j^{(k)} = \zeta_{j+1}^{(k)} - 2\zeta_j^{(k)} + \zeta_{j-1}^{(k)}, \quad (22)$$

$$\Delta^2 \eta_j^{(k)} = \eta_{j+1}^{(k)} - 2\eta_j^{(k)} + \eta_{j-1}^{(k)}. \quad (23)$$

Привлекая граничные условия, вышеприведенные выражения позволяют выполнить пространственный деформационный расчет неупругого составного стержня. Результаты деформационного расчета могут в дальнейшем быть использованы для проверки устойчивости составного стержня путем подстановки их в определитель, составленный из коэффициентов при вариациях независимых переменных проварьированной системы уравнений равновесия. Равенство этого определителя нулю будет свидетельствовать о критическом состоянии составного стержня [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И. А. Общие алгоритмы решения задач теории упругости, пластичности и ползучести // Успехи механики деформируемых сред. М.: Наука, 1975. С. 61–73.
2. Качанов Л. М. Теория ползучести. М.: Физматгиз, 1960. 455 с.
3. Мысовских И. П. Лекции по методам вычислений: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 472 с.
4. Ржаницын А. Р. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 314 с.
5. Рочев А. А. Нелинейная теория расчета сквозных упругопластических статически неопределимых рамных систем // Доклады 58-й конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета: В 3 ч. Ч. 1. СПб.: СПбГАСУ, 2001. С. 93–94.
6. Санжаровский Р. С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 280 с.

УДК 004.93'1, 025.4.03

МАКСИМ ЮРЬЕВИЧ БЫСТРОВ

аспирант кафедры теории вероятностей и анализа данных
математического факультета, Петрозаводский государст-
венный университет
maksimkab@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА К РАСПОЗНАВАНИЮ СКЕЛЕТОВ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье описываются алгоритм и его реализация для поиска бинарных изображений в электронной графической коллекции при помощи скелетов. Предлагаемый алгоритм поиска основывается на структурном подходе и включает следующие этапы: построение скелета фигуры, регуляризация скелета, аппроксимация скелета прямыми линиями, построение структурного описания скелета (цепочки примитивов) и сравнение цепочек различных фигур между собой. Рассматриваемый в статье способ построения цепочек примитивов позволяет сравнивать скелеты как целиком, так и частями.

Ключевые слова: бинарные изображения, электронные коллекции, скелеты, распознавание, структурные методы

Несмотря на активное создание электронных коллекций графических документов (баз данных для хранения изображений), задача организации поиска в них является достаточно сложной и на сегодняшний день не решена до конца. На практике удается решить эту проблему только для определенных типов изображений [7].

При организации поиска требуется решить задачу распознавания изображений. В данной статье рассматривается применение структурного подхода к распознаванию с использованием скелетов. Структурные методы основаны на получении структурно-грамматических признаков, когда в изображении выделяются элементы – признаки и вводятся правила соединения этих элементов [8]. Анализ и сравнение получаемых последовательностей элементов разных изображений способствуют принятию решения. Такой подход обеспечивает высокое быстродействие, так как задача распознавания сводится к сравнению символьных структур, а не исходных изображений, что дает неоспоримое преимущество при решении задачи поиска в больших коллекциях графических документов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Под бинарным изображением будем понимать черно-белую картинку в растровой решетке, на которой точки объекта черные (значение цвета равно 1), а точки фона – белые (значение цвета равно 0). В растровой решетке каждая точка имеет целочисленные координаты. Для оценки связности будем использовать 8-смежную структуру соседства [3], где соседними считаются точки, евклидовое расстояние между которыми 1 или $\sqrt{2}$. Множество точек называется связным, если любые две точки множества могут быть соединены последовательностью соседних точек, принадлежащих данному мно-

жеству. Под дискретной фигурой (далее «фигура») будем понимать максимальное связное множество черных точек в растровой решетке, то есть такое множество, которое не содержится ни в каком другом связном множестве черных точек. Под «дырой» в фигуре будем понимать связное множество белых точек, окруженное точками фигуры. В описываемом алгоритме рассматриваются только бинарные изображения, содержащие одну фигуру без «дыр» (рис. 1а).

Точка фигуры называется граничной, если она имеет соседнюю точку, не принадлежащую фигуре [3]. Границей фигуры называется множество всех ее граничных точек (рис. 1б).

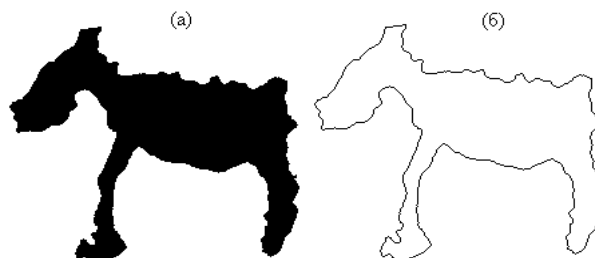


Рис. 1. Бинарное изображение (а)
и его граничное представление (б)

Под скелетом фигуры в общем случае подразумевается множество центров окружностей, лежащих внутри фигуры и касающихся границы фигуры не менее чем в двух точках. Скелет можно рассматривать как граф [2] (рис. 2): его ребра – линии, состоящие из центров окружностей, касающихся границ в двух и более точках; вершины – центры окружностей, касающиеся границ в трех и более точках, а также крайние точки ребер. Вершина, имеющая одно инцидентное ребро, называется терминальной, более одного – узлом скелета. Ребро, инцидентное терминальной вершине, называется терминальным, остальные ребра – внутренними.

Однако с определением скелета фигуры на растровой решетке возникают трудности, связанные с тем, что здесь «не работает» понятие окружности. Поэтому строгого определения скелета растровой фигуры не существует. Однако существуют различные методы, позволяющие получить скелет растровой фигуры, близкий по своим свойствам скелету в общем случае. Поэтому под скелетом на растровой решетке в каждом конкретном случае подразумевают используемый для его получения метод. В данной работе используется алгоритм Зонга – Суня, о котором пойдет речь в следующем разделе.



Рис. 2. Скелет бинарного изображения: сплошными линиями обозначен скелет, пунктирными со стрелками – указатели на элементы скелета

ПОЛУЧЕНИЕ СКЕЛЕТА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Один из наиболее распространенных подходов к построению скелета растровой фигуры – класс методов топологического утончения фигуры [3]. Известно большое число реализаций этого подхода, отличающихся техническими нюансами. Идея данных алгоритмов состоит в последовательном утончении фигуры от границы к ее середине путем переокрашивания черных граничных точек в белые.

В разработанной системе реализован алгоритм Зонга – Суня [9], который является одним из наиболее быстрых алгоритмов топологического утончения фигуры. Он заключается в следующем: начиная с верхней левой точки в последовательности слева направо, сверху вниз просматриваются все точки изображения. Значения цветов исследуемых точек и их соседей обозначаются в соответствии с табл. 1.

Вводятся следующие переменные: А – число конфигураций 01 в последовательности P1, P2,

Таблица 1

Последовательность обозначения цветов исследуемой точки (P0) и ее соседей в алгоритме Зонга – Суня		
P1	P2	P3
P8	P0	P4
P7	P6	P5

P3, P4, P5, P6, P7, P8, P1, то есть вокруг P0 существует только один переход от 0 к 1; В – количество 1 в последовательности P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8. Если выполняется: $((P0 = 1) \text{ И } (2 \leq V \leq 6) \text{ И } (A = 1) \text{ И } (P2 * P4 * P6 = 0) \text{ И } (P4 * P6 * P8 = 0))$ или $((P0 = 1) \text{ И } (2 \leq V \leq 6) \text{ И } (A = 1) \text{ И } (P2 * P4 * P8 = 0) \text{ И } (P2 * P6 * P8 = 0))$, то исследуемая точка переокрашивается в 0.

После достижения последней точки изображения просмотр начинается снова. Алгоритм заканчивается, когда за время очередного обхода не будет перекрашена ни одна точка. Неперекрашенные точки впоследствии образуют скелет.

Пример работы данного алгоритма представлен на рис. 3.

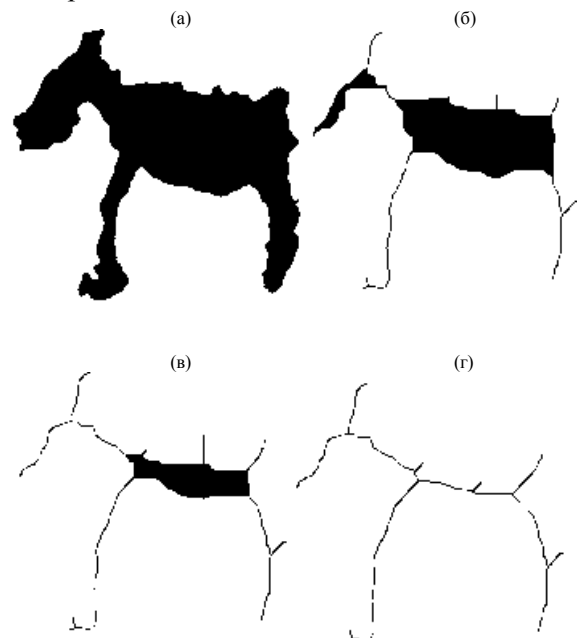


Рис. 3. Построение скелета фигуры с помощью алгоритма Зонга – Суня: (а) – исходная фигура; (б) – 20-я итерация алгоритма, (в) – 40-я итерация алгоритма; (г) – скелет фигуры, 62-я итерация алгоритма

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ СКЕЛЕТА

Обычно скелет фигуры содержит множество шумовых ребер, которые не являются существенными при описании общей формы фигуры (критерий несущественности будет определен ниже). Требуется их удаление, так называемая регуляризация скелета [2]. Появление подобных ребер связано с неровностями границы фигуры – в процессе топологического утончения в каждой выпуклости границы возникает новое терминальное ребро скелета, часто шумовое. Процесс регуляризации сводится к последовательному удалению шумовых терминальных ребер.

Предлагается алгоритм регуляризации, основанный на утверждении о том, что по скелету можно восстановить исходную фигуру, если для каждой точки скелета нарисовать круг с центром в этой точке и радиусом, равным расстоянию от

нее до ближайшей точки границы фигуры. Данное утверждение вытекает из определения скелета в общем случае [3]. В связи с особенностями получения скелета на растровой решетке в нашем случае фигура восстанавливается приближенно.

Пусть F_0 – восстановленная по скелету фигура, а ее площадь – S_0 . Под площадью фигуры на растровой решетке понимается количество точек, из которых она состоит. Удалим какое-либо терминальное ребро i из скелета и снова восстановим фигуру, используя оставшиеся ребра и старые радиусы – расстояния до границ исходной фигуры (фигура F_i), обозначим ее площадь S_i . Форма и площадь фигуры F_i будет отличаться от фигуры F_0 . При этом если S_i отличается от S_0 незначительно, то удаленное терминальное ребро является шумовым, так как не сильно повлияло (или вообще не повлияло) на площадь. Стоит отметить, что критерий сравнения площадей является достаточным, так как F_i всегда будет лежать внутри F_0 .

Основываясь на данной идеи, предлагается следующий алгоритм регуляризации скелета:

1. По скелету восстанавливается исходная фигура и вычисляется ее площадь S_0 .
2. Выбирается i -е терминальное ребро скелета.
3. По скелету без ребра i восстанавливается фигура и считается ее площадь S_i .
4. Если $S_0 - S_i < P$, где P – пороговая величина, то ребро i удаляется из скелета.
5. Если остались нерассмотренные терминальные ребра – переход к п. 2, иначе конец алгоритма.

Отметим, что в данном алгоритме в качестве терминальных рассматриваются только те ребра, которые были таковыми изначально, а не новые, появляющиеся при удалении ребер.

Пример работы данного алгоритма представлен на рис. 4.

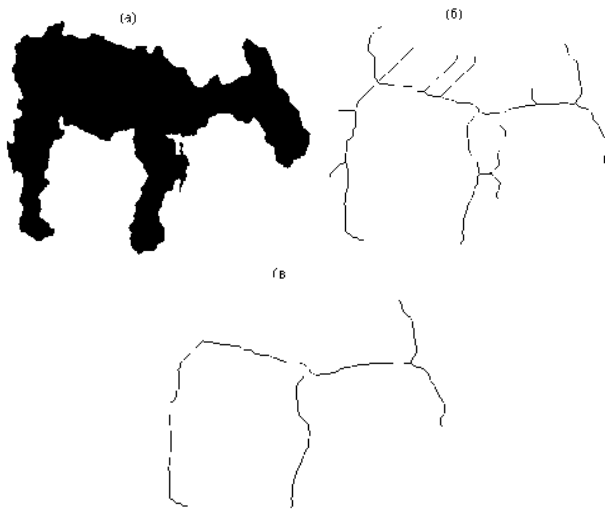


Рис. 4. Работа алгоритма регуляризации скелета: (а) – исходное изображение; (б) – скелет; (в) – скелет после регуляризации

АППРОКСИМАЦИЯ СКЕЛЕТА

На данном этапе происходит аппроксимация ребер скелета прямыми линиями. Аппроксимация происходит с использованием метода последовательных приближений [1]. При этом в случае слабой кривизны ребра оно преобразовывается в одно ребро-отрезок с теми же вершинами, иначе ребро преобразовывается в набор отрезков. Кривизна ребра C измеряется максимальным евклидовым расстоянием от точек ребра скелета до аппроксимирующей его прямой. Если $C > 0,2 \cdot D$, где D – диаметр минимальной окружности, описанной вокруг скелета, то ребро заканчивается в точке максимума кривизны и далее скелет аппроксимируется от этой точки (рис. 5). Пороговое значение меры кривизны подобрано экспериментальным путем. Возможно, для некоторых классов изображений значение порога будет другим, поэтому при необходимости его можно изменить во время работы системы.

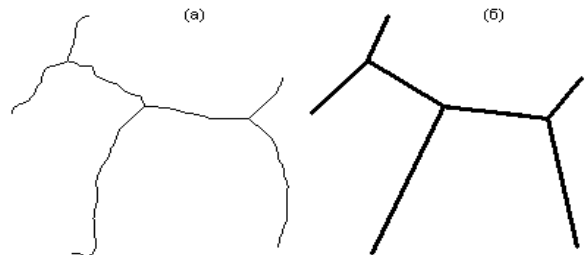


Рис. 5. Пример аппроксимации скелета: (а) – исходный скелет; (б) – аппроксимация скелета прямыми линиями

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕПОЧЕК ПРИМИТИВОВ

В качестве структурного описания скелета предлагается использовать цепочку примитивов, состоящую из прямых ребер аппроксимированного скелета и углов между ребрами. Предлагается следующий алгоритм получения цепочки для скелета, состоящего из n ребер:

1. Произвольно выбирается терминальная вершина скелета и инцидентное ей терминальное ребро $i = 1$. Вторая, нетерминальная вершина, инцидентная ребру i , объявляется текущей.
2. Вычисляется длина i -го ребра l_i и записывается в цепочку.
3. Среди ребер, инцидентных текущей вершине, выбирается то, которое составляет наименьший угол относительно i -го ребра против часовой стрелки (ребро $i + 1$). Рассматривается также само i -е ребро с углом, равным 360° .
4. Угол α_i между ребрами i и $i + 1$ записывается в цепочку.
5. Если $i + 1 = 2n + 1$, то конец алгоритма. Иначе вершина, инцидентная ребру $i + 1$, не являющаяся текущей, объявляется текущей, i увеличивается на 1, переход на п. 2.

Примечание. Длина ребра является относительной величиной в процентах. За 100 % берется диаметр минимальной окружности, описанной вокруг скелета. Для поиска такой окружности используется алгоритм, предложенный в [4].

Получаемую таким образом цепочку можно записать в виде $\{l_i, \alpha_i\}$, $i = 1, \dots, 2n$, где n – количество ребер скелета.

На рис. 6 представлен пример получения цепочки примитивов простейшего скелета. Здесь стрелками обозначено направление обхода скелета, 0 – точка, в которой начинается обход. Полученная цепочка имеет вид:

$\{70; 95\} \{50; 360\} \{50; 90\} \{40; 360\} \{40; 175\} \{70; 360\}$.

СРАВНЕНИЕ ЦЕПОЧЕК

Конечным этапом алгоритма распознавания является сравнение цепочек примитивов скелетов различных фигур между собой. Если цепочки похожи, то и скелеты, и фигуры, из которых они получены, также похожи.

Пусть имеются две цепочки длины $2n$, описывающие разные фигуры: $\{l_i, \alpha_i\}$, $i = 1, \dots, 2n$, $\{k_i, \beta_i\}$, $i = 1, \dots, 2n$.

Тогда введем следующее условие равенства: цепочки равны, если для всех $i = 1, \dots, 2n$ выполняются условия: $|l_i - k_i| \leq P_1$, $|\alpha_i - \beta_i| \leq P_2$, где P_1 и P_2 – пороговые величины.

В описываемой системе пороги устанавливаются пользователем.

УСТОЙЧИВОСТЬ К ВЫБОРУ НАЧАЛА ОБХОДА

Начало обхода при построении цепочек у двух одинаковых скелетов может быть различным. Всего для каждой из них существует $2n$ циклических сдвигов. Тогда для сравнения двух цепочек достаточно зафиксировать одну из них и сравнить с $2n$ циклическими сдвигами второй. Если хотя бы одна пара сравниваемых цепочек будет равна, то и исходные цепочки равны между собой, то есть если найдется такое $\gamma = 1, \dots, 2n$, что выполняются условия:

$$|l_i - k_j| \leq P_1, |\alpha_i - \beta_j| \leq P_2, i = 1, \dots, 2n,$$

$$\text{где } j = \begin{cases} i + \gamma, & \text{если } i + \gamma \leq 2n \\ i + \gamma - 2n, & \text{если } i + \gamma > 2n. \end{cases}$$

НАХОЖДЕНИЕ ОБЩЕЙ ЧАСТИ У ДВУХ ЦЕПОЧЕК

Рассмотренный алгоритм сравнения двух цепочек требует равенства длин цепочек и, соответственно, совпадения форм фигур, из которых они получены, целиком. Однако на практике зачастую существует необходимость поиска общей одинаковой части у двух фигур. Тогда возникает задача нахождения общей части у двух цепочек.

Рассмотрим простейший скелет и пронумеруем его ребра (рис. 6).

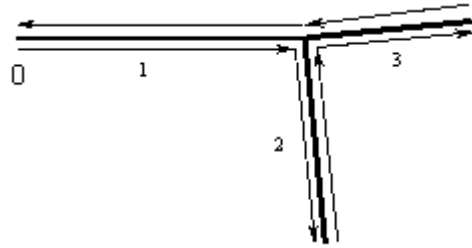


Рис. 6. Простейший скелет

Цепочка, описывающая данный скелет в случае начала обхода в ребре 1, имеет вид:

$\{70; 95\} \{50; 360\} \{50; 90\} \{40; 360\} \{40; 175\} \{70; 360\}$.

Пусть необходимо получить цепочку скелета, состоящего только из ребер 1 и 3. Для того этого нужно удалить из строки элементы, соответствующие ребру 2 – l_2 и l_3 , а также угол, связывающий их между собой α_2 . Заметим, что угол между ребрами 1 и 3 (снизу) равняется сумме углов между ребрами 1 и 2 и ребрами 2 и 3, а это углы α_1 и α_3 соответственно. Сложив и объединив эти два угла между собой, получим искомую цепочку: $\{70; 185\} \{40; 360\} \{40; 175\} \{70; 360\}$.

В общем случае процесс удаления терминального ребра из цепочки можно описать в виде следующих утверждений:

1. Ребро k в цепочке $\{l_i, \alpha_i\}$, $i = 1, \dots, 2n$ является терминальным, если выполняется условие $l_k = l_{k+1}$ и $\alpha_k = 360$.
2. Для того чтобы удалить терминальное ребро k , необходимо из цепочки исключить l_k , l_{k+1} и α_k , а α_{k-1} и α_{k+1} сложить между собой.

Рассмотренная операция удаления терминального ребра позволяет для цепочки длины $2n$ получить множество всех подцепочек длины $2r$ ($r \leq n$), описывающих подграфы исходного скелета. Тогда задача поиска общей части длины $2r$ у цепочек длин $2n$ и $2m$ сводится к процессу сравнения всевозможных их подцепочек длины $2r$.

АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА

Описанный метод структурного распознавания бинарных изображений был реализован в виде приложения и протестирован на электронной коллекции изображений петроглифов Северной Фенноскандии [6]. Для тестирования были отобраны 200 черно-белых изображений петроглифов. Результаты работы программы оценивались субъективно автором статьи. Точность работы алгоритма была оценена в 70 % при порогах $P_1 = 20$ и $P_2 = 30$, которые были установлены экспериментальным путем. Для других коллекций изображений, возможно, максимальная точность будет достигнута при других значениях порогов. В табл. 2 представлена информация о средней скорости работы алгоритма для изображения 250×250 пикселей (для среднестатистического монитора это приблизительно 8×8 см):

Таблица 2

Скорость работы алгоритма

Этап	Время (мсек)
Получение скелета	60
Регуляризация скелета	110
Аппроксимация скелета	1
Получение цепочки	1
Сравнение двух цепочек	6 (для 1000 сравнений)

Как видно из табл. 2, основное время занимают операции получения и регуляризации скелета. Однако для каждой коллекции изображений можно построить цепочки только один раз и в дальнейшем пользоваться ими при поиске. Поэтому в целом можно утверждать, что алгоритм работает достаточно быстро.

ВЫВОДЫ

Рассмотренный способ построения и сравнения структурных описаний скелетов бинарных

изображений в виде цепочек примитивов обладает рядом преимуществ:

1. Цепочки устойчивы к повороту фигуры;
2. Цепочка, записанная в обратном порядке, соответствует зеркальному отображению исходной фигуры;
3. Существует возможность сравнивать фигуры как целиком, так и отдельными частями;
4. Выбор ребра – начала обхода скелета не влияет на результат.

Система прошла апробацию на коллекции изображений петроглифов Северной Фенноскандии [6].

Описанный алгоритм позволяет производить быстрый поиск в электронной коллекции, однако является недостаточно точным. Решением данной проблемы может быть использование двухуровневого поиска – после применения рассмотренного метода поиска, сужающего набор изображений, применяется точный, но медленный метод для окончательного отбора [5]. В дальнейшем планируется усовершенствование алгоритма путем подключения точного алгоритма поиска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярева А., Вежнев В. Line fitting, или методы аппроксимации набора точек прямой // Компьютерная графика и мультимедиа. 2003. №1(3) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/41>
2. Домакина Л. Г. Регуляризация скелета для задачи сравнения формы // Математические методы распознавания образов: доклады XIV Всероссийской конференции. М.: Макс-Пресс, 2009. С. 342–345.
3. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений. Фигуры. Скелеты. Циркуляры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 287 с.
4. Минимальная охватывающая окружность [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.prografix.narod.ru/min_circle.html
5. Путятин Е. П. Нормализация и распознавание изображений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sumschool.sumdu.edu.ua/is-02/rus/lectures/pytyatin/pytyatin.htm>
6. Рогов А. А., Рогова К. А., Кириков П. В. Применение методов распознавания образов в системе управления коллекциями графических документов // Математические методы распознавания образов: Доклады XIV Всероссийской конференции. М.: Макс-Пресс, 2009. С. 429–432.
7. Российский семинар по оценке методов информационного поиска [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cladz.ru/program/367656.html>
8. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977. 320 с.
9. Zhang T. Y., Suen C. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns // Commun. ACM. 1984. Vol. 27. № 3. P. 236–239.

УДК 533.9

АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ ШЕЛЕСТОВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет
shelestov@psu.karelia.ru

ВАЛЕРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ГОСТЕВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет
vgostev@psu.karelia.ru

РАЗРАБОТКА МИКРОПЛАЗМАТРОНА В КАЧЕСТВЕ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА ДВС

В статье описана разработка устройства для осуществления самостоятельного разряда, инициируемого жидкостным микроплазматроном, и проведены измерения основных его характеристик.

Ключевые слова: плазма, плазматрон, газовый разряд, подготовка топлива

Как известно, большинство современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), оснащенных системами инжекторного впрыска или карбюраторными системами подготовки топлива при приготовлении бензиновой смеси, потребляют значительное количество воздуха, которое поглощают из атмосферы. Воздух необходим как окислитель при сгорании паров бензина в цилиндрах двигателя. Очевидно, что окислителем является не сам воздух, а содержащийся в нем кислород. Достоинством такого метода забора воздушного кислорода для приготовления топливной смеси является его простота. Однако при этом метод имеет ряд недостатков, основной из которых – поглощение вместе с кислородом из воздуха других содержащихся в нем газов, главным образом азота, которые также могут участвовать в процессе горения с образованием различного рода оксидов. Содержание кислорода в воздухе составляет около 21 %, азота – около 78 %. Еще почти 1 % – это аргон и углекислый газ, которые не участвуют в процессе горения, но также поглощаются вместе с кислородом, занимая полезный объем рабочей камеры. В большинстве устройств подготовки топлива образуется неоднородная горючая смесь, часть топлива попадает на стенки цилиндра, в результате чего происходит неполное сгорание топлива. Вследствие неполноты сгорания происходит интенсивное выделение оксида углерода и несгоревших углеводородов. Горючесть топливовоздушных смесей в двигателях низка, несгораемые твердые частицы, находящиеся в топливе, откладываются в виде нагара и окалины в камерах сгорания, в клапанной системе. Нагар и окалина, откладываясь на клапанах, препятствуют их герметичному закрытию. В результате этого часть топлива, не сгорая, через неплотно сидящие в седлах выпускные клапаны при движении поршня вверх выходит в выхлопной коллектор и далее

в атмосферу. Кроме того, при высоких температурах окалина накаляется, превращаясь в своеобразную «свечу зажигания». При поступлении топливной смеси в камеру сгорания сразу начинается процесс ее воспламенения от окалины («калильное зажигание»). Энергия, выделяющаяся при этом, препятствует движению поршня в верхнюю мертвую точку, выполняя тем самым отрицательную работу. Поршень в верхней точке получает слабый импульс и движется вниз, вращая коленчатый вал (полезная работа) и преодолевая сопротивление других поршней, тормозящихся «калильным зажиганием». Таким образом, лишь часть топлива выполняет в двигателе полезную работу.

В условиях постоянно возрастающего количества автотранспорта мы сталкиваемся с насущной необходимостью уменьшить вредное загрязнение воздуха. Совершенствование системы питания ДВС открывает новые возможности решения задачи максимального обогащения рабочей смеси окислителем с сохранением или улучшением при этом динамических и экологических параметров двигателя наряду со снижением расхода топлива.

Перспективным является способ получения кислорода из сторонних источников: воды, углекислого газа, жидких углеводородов. В процессе разложения данного сырья в камеры сгорания поступает ионизированный кислород без примесей, что ведет к существенной экологической чистоте отработанных картерных газов. Приоритетным направлением наших работ является исследование процесса разложения воды как наиболее доступного, экологически чистого сырья. Запланирован ряд экспериментов с углекислым газом и жидкими углеводородами. Для генерации аэроионного потока необходима разработка специального устройства – микроплазматрона,

способного разорвать химические связи между молекулами водорода и кислорода с их последующей ионизацией. Основной упор исследований делается на использовании воды в качестве источника кислорода. Такой выбор обусловлен тремя причинами.

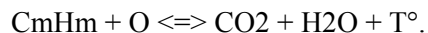
Во-первых, из воды можно извлечь газ ННО (его еще называют газом Брауна), который горюч, при добавлении его к любому топливу, будь то бензин или дизель, увеличивает КПД двигателя. При этом экономия топлива достигает 25–65 % (по статистике в среднем 30–40 %). Также в связи с уменьшением расхода топлива увеличивается межсервисный пробег топливных форсунок. Таким образом, использование газа Брауна помогает решить проблему увеличения КПД двигателя. Каждый литр воды расширяется на 1866 литров горючего газа, следовательно, небольшой бачок с водой обеспечивает ДВС горючим газом в течение длительного времени.

Во-вторых, появляется возможность образования водорода в горючем газе. Следовательно, водород может выполнять функцию интенсификации процессов горения в ДВС. Это связано с тем, что температура горения водорода выше температуры горения традиционного ископаемого топлива, а скорость воспламенения почти в тысячу раз больше. Поэтому несгоревшее топливо, вместо того чтобы догорать в катализаторе и вылетать в атмосферу, будет сгорать там, где и должно, – в камере сгорания.

В-третьих, вода обладает аномально высокой удельной теплоемкостью, в семь раз превосходящей теплоемкость бензина. Поступая в тракт отсоса картерных газов карбюратора или инжектора и смешиваясь с воздухом, она создает водно-эмульсионную смесь, которая, попадая в коллектор, охлаждает воздух, тем самым увеличивая его плотность. Это приводит к подъему коэффициента наполнения цилиндров и как следствие – росту мощности. Полученная смесь, продвигаясь далее по тракту двигателя, в три с половиной раза активнее отбирает тепло с клапанов, поверхностей поршней, головок и ци-

линдров, аккумулируя его в последующую работу. Затем под воздействием высокой температуры, которая в ряде случаев является избыточной, вода может распадаться на свободные радикалы Н-О-Н, то есть все тот же горючий газ, участвующий в химическом окислении (горении) топлива, повышая при этом полноту сгорания, что снова приводит к росту мощности. Побочным явлением аномальной теплоемкости воды становится факт сдерживания скорости распространения пламени, называемый «детонация», за счет активного отбора энергии в местах возникновения микровзрывов. Вследствие химического окисления не весь водород участвует в горении. Его избыток связывается с углеродом (нагаром), очищая поверхность цилиндропоршневой группы и масла. Подавление явления детонации позволяет применять низкооктановый бензин без увеличения расхода и потери мощности в сравнении с высокооктановым бензином. Это объясняется тем, что разница между марками бензина заключается лишь в наличии примесей, повышающих его детонационную стойкость.

Принцип горения бензина в цилиндрах выражается простой формулой:



Отсюда следует, что присутствие в двигателе воды, возникающей в результате горения топлива, не вызывает коррозию. Применение спиртовых смесей не улучшает динамику двигателя, а всего лишь способствует эксплуатации установки в зимнее время (понижает температуру замерзания воды). Ресурс двигателя только увеличивается за счет того, что при сгорании снова получается вода (в мизерном количестве), которая, являясь уникальным природным растворителем, избавляет двигатель от углеродных отложений, а также улучшает теплообмен между седлом и клапаном. При этом снижаются детонация и калильное зажигание, то есть нагрузка на весь кривошипно-шатунный механизм.

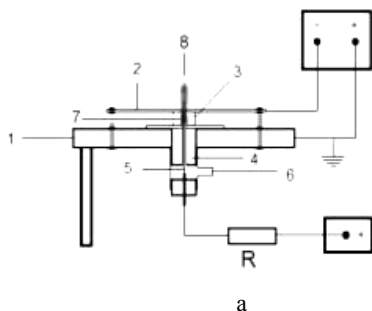


Рис. 1. а) Схема микроплазматрона; б) фотография плазменной струи в атмосферном воздухе:
1 – основной электрод, 2 – дополнительный электрод, 3 – кварцевая трубка, 4 – керамическая трубка, 5 – игла,
6 – канал для подачи воды, 7 – канал разряда, 8 – плазменная струя

Использование микроплазматрона на борту автомобиля дает еще одно преимущество: плазменную струю можно применять и для получения мелкодисперсионного спрея при подготовке топлива. Использование микроплазматрона в другом режиме, при меньших токах, позволяет создать плазменную форсунку, обеспечивая более мелкодисперсионный аэрозоль, чем при стандартном методе механического распыления.

Целью данного этапа работы являлось создание экспериментального прибора для изучения несамостоятельного разряда и измерение характеристик самого разряда и струи, генерируемой им в атмосферный воздух.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Для исследования плазмохимических процессов в струе была разработана экспериментальная модель высокотемпературного жидкостного микроплазматрона. Схема устройства приведена на рис. 1а.

Через трубку (6) подводилась вода. При подаче высокого напряжения между иглой (5) и электродом (1) происходил пробой этого промежутка и в пространство между электродами (1) и (2) генерировалась микроплазменная струя. При подаче напряжения на эти электроды закигался несамостоятельный разряд (7) и из отверстия электрода (2) в атмосферный воздух выводилась плазменная струя (8) (рис. 1б).

ЭКСПЕРИМЕНТ

На первом этапе работы эксперимент проводился с жидкостным микроплазматроном. Исследовались различные характеристики струи: режимы и параметры горения струи, тепловая мощность, температура струи, расход воды, спектры излучения.

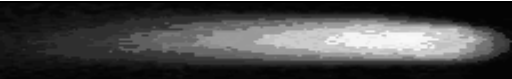
Условия горения разряда. Разряд закигался при токе 500 мА, напряжением между иглой и первым электродом 1000 В, затем устанавливался стабильный режим горения при напряжении 300 В и токе 500 мА. Вкладываемая мощность составила 150 Вт. Характеристики этих режимов представлены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Энергетические характеристики микроплазменной струи. Мощность плазменной струи измерялась с помощью калориметра ИКТ-1М. Средняя тепловая мощность, вырабатываемая струей при токе $I = 500$ мА и напряжении $U = 300$ В: $P_{\text{ср}} = 84$ Вт. При электрической мощности $P = 150$ Вт КПД устройства составляет 56 %.

На рис. 2 представлено интегральное распределение интенсивности по длине струи при различных режимах работы устройства. Распределение интенсивности регистрировалось на цифровой носитель с последующей компьютерной обработкой.

Характеристики режимов горения разряда

Режим работы плазматрона	U, В	I, А	Расход воды, мг/час	Оценочная температура, °С	Характеристики плазменной струи
Режим малой подачи воды, напряжение на второй электрод не подается	300	0,5	40	1000–1200	 Имеет оранжевый цвет, в спектре излучения наблюдается интенсивная молекулярная полоса в области 590–600 нм
Режим нормальной подачи воды, напряжение на второй электрод не подается	300	0,5	70	1500–1700	 Излучение плазменной струи более интенсивное и имеет зеленый цвет, в спектре наблюдается яркая зеленая молекулярная полоса (500–560 нм)
Подано напряжение на второй электрод, расстояние между первым и вторым электродами – 1 см	300 между иглой и электродом (1), 400 между электродами (1) и (2)	0,5 в первой цепи, 0,6 во второй цепи	70	2000	 Изменила форму и цвет. В спектре излучения кроме полос в области 590–600 нм и 500–560 нм наблюдаются яркие линии атомарного водорода H_{α} и H_{β}
Подано напряжение на электрод (1), расстояние между электродами (1) и (2) – 0,5 см	300 между иглой и электродом (1), 400 между электродами (1) и (2)	0,5 в первой цепи, 0,6 во второй цепи	70	1500	 В спектре излучения наблюдаются яркие линии атомарного водорода H_{α} и H_{β} и полоса в области 590–600 нм

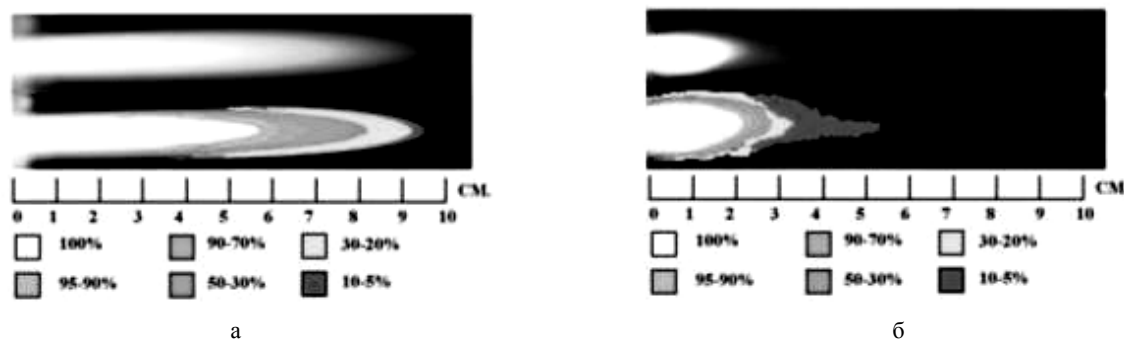


Рис. 2. а) Интегральное распределение интенсивности в струе; б) интегральное распределение интенсивности в струе при подаче напряжения на второй электрод

Как видно из рисунков, горение пламени существенно зависит от режима работы микроплазматрона [5], [2]. При режиме горения, когда на второй электрод не подается напряжения, образуется длинная плазменная струя, интенсивность различных зон которой плавно меняется. Если на второй электрод подается напряжение, то длина струи уменьшается, а область максимальной интенсивности занимает большую часть пламени [6].

Различие режимов горения проявляется и в воздействии пламени на вещество [1], [3]. При помещении железной проволоки в струю, когда напряжение на второй электрод не подано, она просто плавится, а при подаче напряжения начинает интенсивно сгорать, что свидетельствует об активном выделении кислорода в струе. На основании этого можно сделать вывод: при зажигании несамостоятельного разряда в струе начинают активно происходить плазмохимические реакции.

Спектроскопические характеристики излучения микроплазменной струи. В ходе работы были зарегистрированы спектры излучения струи плазматрона, распространяющейся в атмосферном воздухе (см. таблицу). Анализ спектров излучения [4] показал, что в них присутствуют молекулярные полосы в областях 500–560 нм (N_2, O_2 , NO, NO_2) и 590–

600 нм (NO_2). При осуществлении несамостоятельного разряда, инициируемого микроплазматроном в плазменной струе, кроме указанных молекулярных полос появляются яркие линии водорода, 656 нм (H_α) и 486 нм (H_β), и кислорода O_2 – 531 нм и 562 нм. Спектры излучения, полученные из области несамостоятельного разряда показывают наличие только линий водорода и кислорода, а также полос молекулярного кислорода.

ВЫВОДЫ

В несамостоятельном разряде, инициируемом жидкостным микроплазматроном, образуется значительное количество водорода и кислорода, это позволяет надеяться, что данная установка может быть использована как плазмохимический реактор. Дальнейшие исследования связаны с определением количества образующегося водорода.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации по федеральной целевой программе «Научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., Государственный контракт № П1452 от 03.09.2009, по конкурсу № НК-152П, проект «Разработка микроплазматрона в качестве устройства подготовки топлива ДВС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гостев В. А. Применение низкотемпературной плазмы в биологии и медицине. Успехи и проблемы // Материалы пленарных докладов ФНТП-2001 и лекции школ по физике низкотемпературной плазмы. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 356–360.
2. Гостев В. А., Мамкович В. В., Сусун В. И. Исследование электрокинетических и спектральных характеристик микроплазмы разряда в геометрии острие-плоскость // Вторая Международная конференция по физике плазмы и плазменным технологиям ФНПТ-2. Минск, 1997. Т. 1. С. 98–99.
3. Мисюн Ф. А., Гостев В. А. Первый опыт и перспективы применения низкотемпературной плазмы в офтальмологии // Материалы II Евроазиатской конференции по офтальмохирургии. Екатеринбург, 2001. Ч. 2. С. 333–334.
4. Таммет У. Д. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Тарту, 1963. 232 с.
5. Gostev V. A., Mamkovitch V. V., Sysun V. I. // The Investigation of Microplasma Source Radiation. Proc. Contributed papers XXIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases. France, Toulouse. 1997. Vol. 5. P. 80.
6. Gostev V. A., Mamkovitch V. V., Sysun V. I. Radiation Point Source // Proceeding of the Third Inter-Karelian Conference. Teaching Mathematics and Physics In Secondary and Higher Education. Petrozavodsk, Russia. 20–22 May 1998. P. 290–292.

УДК 539.87

ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ПЕТРУНИН

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики естественнонаучного факультета, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк)

gromov@physics.sibsiu.ru

СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ НЕВСКИЙ

аспирант кафедры физики естественнонаучного факультета, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк)

nevskiy_sa@physics.sibsiu.ru

СЕРГЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ КОНОВАЛОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры физики естественнонаучного факультета, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк)

konovalov@physics.sibsiu.ru

ВИКТОР ЕВГЕНЬЕВИЧ ГРОМОВ

доктор физико-математических наук, профессор, ведущий кафедрой физики естественнонаучного факультета, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк)

gromov@physics.sibsiu.ru

О ВЛИЯНИИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РЕЛАКСАЦИЮ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛЮМИНИИ

Выявлено ускоряющее действие слабых электрических потенциалов на релаксацию механических напряжений технически чистого алюминия А 85. Установлено, что активационный объем при наложении потенциалов от -1,5 до 1,5 В уменьшается вне зависимости от его знака. Сделано предположение о связи установленных изменений с изменениями поверхностной энергии и дислокационной структуры.

Ключевые слова: алюминий, релаксация напряжений, электрический потенциал, активационный объем

Одним из основных требований, предъявляемым к деталям ответственного назначения, является стабильность их размеров и формы в течение всего срока эксплуатации. Причина отклонений от задаваемых параметров – пластическая деформация, которая в конечном счете приводит к разрушению детали. Распространенным видом пластической деформации в технике является релаксация напряжений, которая, с одной стороны, может привести к ослаблению механических соединений, с другой стороны, релаксацию напряжений нужно стимулировать для снятия остаточных напряжений. Поэтому необходима разработка способов управления этим видом пластической деформации с помощью внешних энергетических воздействий, но для этого нужно знать характер и общую кинетику протекания пластической деформации в условиях данных воздействий.

Большие успехи достигнуты в изучении влияния внешних электрических воздействий, в частности импульсного токового [18] и воздействия электростатическими полями большой напряженности. Последнее хорошо изучено в твердых диэлектриках [6]. К настоящему времени установлено, что внешние электрические

воздействия существенно меняют дислокационную субструктуру материала. Так, в [19] показано, что при воздействии электрических потенциалов степень самоорганизации дислокационной субструктуры в разрушенных при испытании на ползучесть образцах изменяется. Однако изменение дислокационной субструктуры в случае релаксации напряжений в условиях слабых электрических воздействий практически не изучалось.

Цель настоящей работы – провести анализ изменения дислокационной субструктуры в процессе релаксации механических напряжений алюминия при наложении электрического потенциала.

Исследования выполнены на цилиндрических образцах технически чистого алюминия А 85, диаметром 22 мм и высотой 16 мм. Образцы были предварительно отожжены в течение двух часов при температуре 773 К для снятия внутренних напряжений. Для нагружения образцов (испытание на сжатие) использовалась деформационная машина с автоматической регистрацией усилий во времени. Процесс релаксации механических напряжений начинался после прекращения нагружения при $\sigma_0 = 57 \pm 0,5$ МПа и скорости деформиро-

вания $0,002 \text{ с}^{-1}$. Как и в [8], [9], на образец накладывался электрический потенциал с диапазоном изменения от $-1,5$ до $+1,5 \text{ В}$.

Полученные в эксперименте релаксационные кривые аналогично [3], [19] использовались для определения основных характеристик релаксации механических напряжений. К этим характеристикам относятся активационный объем γ и коэффициент чувствительности скорости пластической деформации к изменению внешнего напряжения $m = d \ln(-\dot{\sigma}) / d \ln \sigma$. В качестве количественных характеристик влияния электрического потенциала ϕ использовались относительное изменение активационного объема $\zeta = (\gamma_\phi - \gamma_0) / \gamma_0$ и коэффициент чувствительности скорости пластической деформации к изменению внешнего напряжения $\xi = (m_\phi - m_0) / m_0$, где γ_0 и m_0 – значения соответствующих величин для ненулевого потенциала, а γ_0 , m_0 – для нулевого.

Из стандартных кривых $\sigma(t)$ [1] определялись зависимости глубины релаксации $\Delta\sigma$ от времени (рис. 1). Видно, что при наложении потенциала релаксация напряжений ускоряется. При $t \approx 400 \text{ с}$ процесс релаксации замедляется и глубина релаксации напряжений принимает следующие значения:

$$\Delta\sigma_1(400 \text{ с}) \approx 5,1 \text{ МПа для } \phi = 0 \text{ В};$$

$$\Delta\sigma_2(400 \text{ с}) \approx 8 \text{ МПа для } \phi = -1 \text{ В};$$

$$\Delta\sigma_3(400 \text{ с}) \approx 9,5 \text{ МПа для } \phi = 1 \text{ В}.$$

Полный временной интервал измерений равен $t = 0 \text{ с} \div 1500 \text{ с}$, и для этого момента времени соответствующие значения равны

$$\Delta\sigma_1(1500 \text{ с}) \approx 11 \text{ МПа};$$

$$\Delta\sigma_2(1500 \text{ с}) \approx 12,5 \text{ МПа};$$

$$\Delta\sigma_3(1500 \text{ с}) \approx 15 \text{ МПа}.$$

В целом глубина релаксации не превышает 15 МПа . На всем временном интервале измерений для $\phi = 1 \text{ В}$ $\delta = [\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1] \approx 4 \text{ МПа}$, причем и этот эксперимент, и последующие (для активационных параметров) обнаруживают независимость результатов измерений от знака приложенного потенциала.

Результаты вычисления активационного объема и коэффициента чувствительности скорости пластической деформации к изменению внешнего напряжения при различных значениях потенциала представлены в таблице.

Изменения γ и m не зависят от знака электрического потенциала и отражают общую тенденцию их снижения с ростом потенциала ϕ .

Полученные результаты, по-видимому, могут быть интерпретированы с помощью представлений о поверхностной энергии и коэффициенте поверхностного натяжения алюминия [10]. Рост поверхностной энергии под воздействием потенциала может быть связан, на наш взгляд, не только с образованием двойного электрического слоя [4], но и с движением дислокаций в поверхностном слое образца в процессе релаксации напряжений. То, что важным для понимания физики явления должна быть картина эволюции движущихся дислокаций, следует из факта ускорения

Изменение параметров γ и m под воздействием электрического потенциала

$\phi, \text{ В}$	-1	-0,5	0	0,5	1
$\gamma, 10^{-27} \text{ м}^3$	1,35	1,29	1,7	1,41	1,27
m	10,7	13,0	14,4	11,3	10,6

Примечание. γ – активационный объем, m – коэффициент чувствительности скорости пластической деформации к изменению внешнего напряжения.

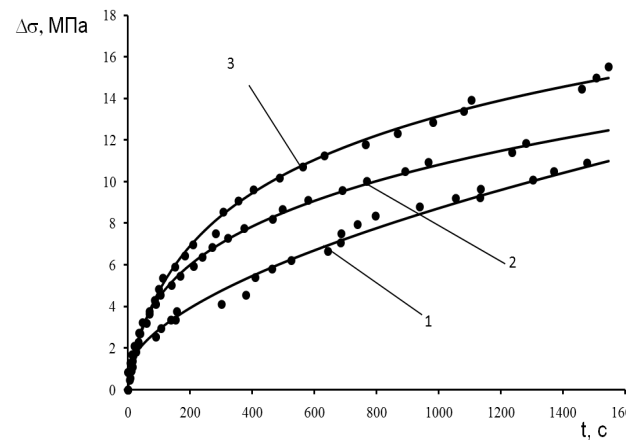


Рис. 1. Изменение глубины релаксации от времени испытания в обычных условиях (кривая 1), при потенциале поверхности -1 В (кривая 2) и $+1 \text{ В}$ (кривая 3)

релаксации напряжений. Ограничимся рассмотрением поведения дислокаций в условиях одноосной модели пластической деформации, предложенной в [5]. Используем традиционный подход к описанию пластической деформации [5], основанный на синтезе идей физической [2] и математической теории пластичности [7], [17]. Можно предположить, что активационный объем γ уменьшается с ростом потенциала потому, что подвижные дислокации закрепляются в процессе релаксации напряжений, а на закрепленные дислокации электрический потенциал не влияет через механизм роста поверхностной энергии. Воспользуемся синергетическим подходом к роли подвижных дислокаций, вихревому характеру пластической деформации (уровень зерна) и структурным уровням пластичности [12], [13].

Поскольку пластическая деформация алюминия осуществляется при относительно низких температурах, не превышающих $0,5 T_m$ (T_m – температура плавления), она реализуется за счет дислокационного скольжения, причем дислокации преодолевают препятствия термофлуктуационным образом. Из выражения для активационного объема $\gamma = bld$ [15], [16], где b – вектор Бюргерса, l – длина дислокационной петли, d – поперечный размер локального стопора, полагая $d \approx b$, получим выражение $l \approx \gamma / b^2$. Значение активационного объема для нулевого потенциала $\gamma(0) = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ м}^3$, значение вектора Бюргерса

для алюминия $b = 2,86 \text{ \AA}$ [16], откуда $l \approx 21 \text{ нм}$. Если роль центров закрепления играют дислокации «леса», то мы можем оценить по порядку величины соответствующую плотность дислокаций $\rho \approx l^{-2} \approx 2,3 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$. Столь высокие значения плотности дислокаций могут свидетельствовать о наличии развитой сетчатой дислокационной структуры [14]. Высокая плотность закрепленных дислокаций и незначительное число подвижных дислокаций приводят к тому, что при наложении потенциала из-за наличия более высокой поверхностной энергии подвижные дислокации при релаксации закрепляются медленнее, чем при нулевом потенциале. А поскольку активационный объем определяется числом закрепленных дислокаций, при нулевом потенциале он меньше, чем при нулевом (в согласии с рис. 2). Коэффициент m ведет себя аналогичным образом, так как с ростом потенциала снижается работа по преодолению дислокацией препятствий [19].

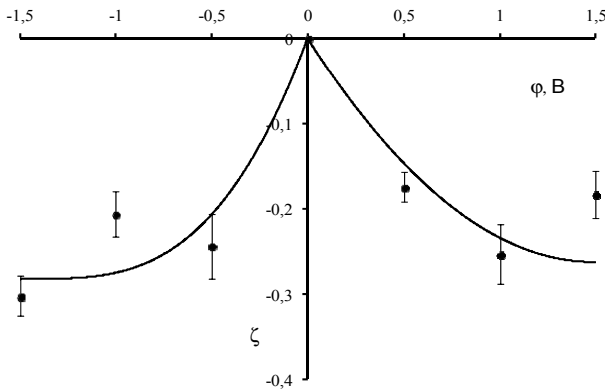


Рис. 2. Зависимость относительного изменения активационного объема от электрического потенциала

Воспользуемся физико-математической моделью одноосного растяжения (сжатия) [5] применительно к нашей задаче. Для жесткопластической среды модель включает следующие уравнения [5]:

$$\frac{d\rho_s}{dt} = \rho_g v_{gs} - \rho_s v_{sg}, \quad (1a)$$

$$v_{sg} = v_0 \exp\left(-\frac{U - \sigma\gamma/n}{kT}\right), \quad (1б)$$

$$\dot{\epsilon} = \rho_g b v, \quad (1в)$$

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \exp\left(-\frac{U - \gamma\sigma/n}{kT}\right), \quad (1г)$$

где ρ_s, ρ_g – плотности закрепленных и подвижных дислокаций, v_{gs} – частота превращений подвижных дислокаций в закрепленные, v_{sg} – частота превращений закрепленных дислокаций в подвижные (преодоление барьеров и т. п.),

t – время, v_0 – предэкспоненциальный множитель, U – энергия активации процессов преодоления барьеров (средняя), σ – внешние (внутренние) напряжения, k – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура, γ – активационный объем, n – фактор Тейлора для поликристалла (для хаотической разориентировки зерен $n = 2,8 \div 3,1$), b – усредненный по системам скольжения вектор Бюргерса, v – средняя скорость подвижных дислокаций, ϵ – пластическая деформация.

Уравнение (1а) является уравнением «баланса» подвижных и закрепленных дислокаций, уравнение (1б) – это уравнение для кинетической константы реакции исчезновения закрепленных дислокаций в форме С. Аррениуса, уравнение (1в) – известное в физике пластической деформации [16] уравнение Орована, уравнение (1г) представляет собой активационный закон типа С. Аррениуса для пластической деформации.

Подставляя в (1г) энергию активации $U = \beta G b^3$, где β – коэффициент, принимающий значения от 0,38 до 0,45 для разных металлов, активационный объем $\gamma = b^2 / \sqrt{\rho_s}$, $v_0 = v_D b \sqrt{\rho_s}$, частоту Дебая $v_D = 10^{12} \text{ с}^{-1}$ и предэкспоненциальный множитель $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 b \sqrt{\rho_s}$, $\dot{\epsilon}_0 \equiv v_D$, получаем решение уравнений для одноосного сжатия. Оно имеет вид формулы для напряжения течения для случая $\dot{\epsilon} = \text{const}$, $T = \text{const}$.

$$\sigma = \beta n G b \left(1 + \frac{kT}{\beta G b^3} \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0 b \sqrt{\rho_s}} \right) \sqrt{\rho_s}, \quad (2)$$

где G – модуль сдвига (для алюминия 27 ГПа [13]).

В соответствии с общепринятыми представлениями, первое слагаемое в (2), получающееся после раскрытия скобок, является атермической компонентой напряжений, а второе – термической компонентой. Формулу (2) можно применить к оценкам изменения плотности дислокаций ρ_s , добавив поправку на внешний потенциал и поверхностную энергию к начальным напряжениям релаксации. Из формулы (1г) следует, что рост внутренних напряжений, обусловленных внешним потенциалом, ведет к снижению скорости деформации $\dot{\epsilon}$, что в соответствии с формулой (2) приводит к увеличению начального напряжения течения материала. Рост напряжения течения, согласно рис. 1, выражается в увеличении глубины релаксации $\Delta\sigma$ для потенциала $\phi = 1 \text{ В}$. Качественно зависимость $\sigma(\rho_s) \sim \sqrt{\rho_s}$ от плотности закрепленных дислокаций в начальный момент релаксации справедлива и для вклада поверхностной энергии в напряжения. Изменение поверхностной энергии под воздействием потенциала, в свою очередь, связано с подвижными дислокациями.

Таким образом, установлен эффект влияния электрических потенциалов на релаксацию механических напряжений технически чистого

алюминия А 85. Выдвинуто предположение о том, что увеличение глубины релаксации обусловлено изменением поверхностной энергии и дислокационной структурой.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» (гос. контракт № П411).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзыка А. М., Гецов Л. Б. Релаксация напряжений в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1978. 256 с.
2. Владимиров В. И. Физическая теория пластичности и прочности. Ч. 2. Точечные дефекты. Упрочнение и возврат. Л.: ЛПИ, 1975. 152 с.
3. Гайдученя В. Ф., Калмыков Э. Б., Мишакин В. В. и др. Количественные параметры быстрой релаксации напряжений в гранулированном высокопрочном алюминиевом сплаве // ФММ. 1988. Т. 65. Вып. 6. С. 1186–1190.
4. Гохштейн А. Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция. М.: Наука, 1976. 400 с.
5. Грешнов В. М., Пятаева И. В., Сидоров В. Е. Физико-математическая теория пластичности и ползучести металлов // Вестник УГАТУ. 2007. Т. 9. № 6. С. 143–152.
6. Зуев Л. Б. Физика электропластичности щелочно-галогидных кристаллов. Новосибирск: Наука, 1990. 120 с.
7. Ишлинский А. Ю., Ивлев Д. Д. Математическая теория пластичности. М.: Физматлит, 2001. 704 с.
8. Коновалов С. В., Данилов В. И., Зуев Л. Б. и др. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия // ФТТ. 2007. Т. 49. № 8. С. 1389–1391.
9. Коновалов С. В., Филиппов Р. А., Котова Н. В. и др. Влияние слабых энергетических воздействий на ползучесть металлов // Известия вузов. Черная металлургия. 2008. № 12. С. 38–40.
10. Кунин Л. Л. Поверхностные явления в металлах. М.: ГНТИЛ ЧЦ, 1955. 304 с.
11. Панин В. Е., Лихачев В. А., Гриняев Ю. В. Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 1985. 229 с.
12. Петрунин В. А., Соснин О. В., Коновалов С. В. и др. Моделирование процессов электростимулированного воздействия на металлы // Известия вузов. Черная металлургия. 2004. № 6. С. 30–34.
13. Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М.: Металлургия, 1986. 224 с.
14. Фридель Ж. Дислокации: Пер. с фр. М.: Мир, 1967. 643 с.
15. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов: Пер. с англ. М.: Мир, 1972. 408 с.
16. Штремель М. А. Прочность сплавов. Ч. 1. Дефекты решетки. М.: МИСИС, 1999. 384 с.
17. Book of the international seminar articles: electromagnetic field effect on the structure and characteristics of materials / Ed. Yu. Baranov, V. Gromov, G. Tang. Novokuznetsk: NPC, 2008. 380 p.
18. Dotsenko V. I. Stress relaxation in crystals // Physica Status Solidi (b). 1979. Vol. 93. № 1. P. 11–43.
19. Gromov V. E., Ivanov Yu. F., Stolboushkina O. A., Kononov S. V. Dislocation substructure evolution on Al creep under the action of the weak electrical potential // Material Science and Engineering A. 2010. Vol. 527. P. 858–861.

УДК 546.26-162,31.17.15.546, 31.15.544, 31.15.544-16; 31.15.539.2:54

СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ДЕНИСОВ

аспирант, младший научный сотрудник, Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН (г. Москва)

saldenisov@gmail.com

ЭЛЛА ЛЕОНТЬЕВНА ДЗИДЗИГУРИ

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (г. Москва)

avrora@gmail.com

БОРИС ВЛАДИМИРОВИЧ СПИЦЫН

доктор химических наук, заведующий лабораторией, Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН (г. Москва)

spitsyn@phych.ea.ru

ГАЛИНА АНАТОЛИЕВНА СОКОЛИНА

кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН (г. Москва)

gasokolina@gmail.com

НИКОЛАЙ ЮРЬЕВИЧ БОЛДЫРЕВ

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт спектроскопии РАН (г. Троицк, Московская область)

nboldyrev@isan.troizk.ru

ОЧИСТКА И МОДИФИКАЦИЯ ПРОДУКТА ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА АЛМАЗА

Разрабатываемые нами газофазные методики модификации и очистки УДА позволяют получать наноалмаз с различной химической терминацией поверхности, как следствие – адсорбционными, электрофизическими свойствами и другими. Модификация поверхности наноалмаза позволит целенаправленно и эффективно использовать его в качестве нового поколения адсорбентов в хроматографии, при получении нанокompозитов, а также в биологии и медицине.

Ключевые слова: УДА, детонационный наноалмаз, модификация, очистка, электропроводность

За последнее десятилетие сформировалось новое междисциплинарное научно-техническое направление «Наночастицы, наноматериалы, нанотехнология», которое стало одним из наиболее быстроразвивающихся в современной науке и высоких технологиях. Резко возросший интерес к ультрадисперсным материалам связан с необходимостью знания их фундаментальных свойств, что должно обеспечить прогресс во вновь возникающих областях физики, материаловедения, химии и биологии [12].

Особый интерес представляет детонационный ультрадисперсный алмаз (УДА). Масштабы его производства в странах СНГ (Россия, Беларусь, Украина) и дальнем зарубежье (КНР, Южная Корея, Япония, Болгария, США) составляют порядка тонн/год. Процесс осуществляется путем взрыва смеси мощных кислорододефицитных ВВ (тринитротолуол, гексоген) в условиях термодинамической стабильности алмаза (~25 ГПа, ~3000 К), длящихся на фронте детонационной волны ~1 мкс [9]. Сохранение большей части

выделяющегося углерода в виде алмазной фазы обеспечивается путем «заковки» продуктов взрыва в газообразных (углекислый газ) либо конденсированных (вода, лед) средах [5], [9]. Получаемая алмазсодержащая шихта представляет собой черный рыхлый порошок с содержанием алмаза > 50 масс. %, требующий очистки для получения чистого наноалмаза.

Средний размер сферических индивидуальных частиц УДА – 4,2 нм. Однако УДА является фактически промышленным полупродуктом. Его состав (в масс. %): С (~85); О (~11); Н (1–3); N (2–3). Кроме того, УДА может содержать до несколько масс. % зольных примесей (окислы, карбиды и нитриды Al, Si, Fe, Cr и др.). Каждая частица НА, как и любого твердого тела, согласно остовной теории [11], представляет собой надмолекулу, имеющую монокристаллическое алмазное ядро (остов), окруженное разупорядоченным слоем, покрытым химически связанным с ним покровом («шубой») из функциональных групп: гидридных, карбоксильных, альдегидных, кетонных, эфирных и др.

В настоящее время применение УДА непрерывно расширяется. На его основе разработаны уникальные абразивные материалы. Гидрофильный характер поверхности УДА позволил создать полировальные системы на основе глицерина и этиленгликоля, в их состав входит 5–12 масс. % УДА, что позволяет получать поверхности с параметром шероховатости $\delta = 1\text{--}2$ нм. Известно использование УДА для создания холодных катодов, полевых транзисторов, в хроматографии [1], а также для очистки белков [3], [15], другие применения в медицине и биологии [15]. Одно из наиболее эффективных применений УДА – существенное повышение свойств (твердости, противокоррозионной и противоизносной стойкости) гальванических покрытий на основе Cr , Ni , Au , Ag и пр. [10], [16]. Очевидно, что целенаправленное развитие этих и других областей применения будет обеспечено только при детальном изучении физико-химических свойств ультрадисперсного алмаза.

Физико-химические свойства УДА непосредственно зависят от химического состояния поверхности нанопорошков алмаза, их фазовой чистоты и размера агрегатов частиц. Существенный вклад в свойства материала в ультрадисперсном состоянии вносят поверхностные атомы. Их доля при размере наночастицы алмаза в 4–5 нм (средний диаметр частиц УДА по данным рентгенофазового анализа равен 4,2 нм) составляет 10–15 %.

УДА представляет собой порошок с удельной поверхностью $250\text{--}350\text{ м}^2\text{ г}^{-1}$ и 90-процентной пористостью, состоит из агрегатов размером в десятки, сотни и даже тысячи нанометров [18].

Вследствие неравновесных условий синтеза для частиц ультрадисперсного алмаза характерны высокая плотность дефектов, активная поверхность и избыточная энтальпия образования [9].

Методы модификации поверхности УДА можно разбить на две группы: изменение состава поверхности непосредственно в процессе синтеза и модифицирование поверхности порошков нанопорошков алмаза после их выделения. Реализация контролируемого изменения физико-химических свойств ультрадисперсного алмаза приведет к лучшему пониманию свойств ультрадисперсных систем и может обеспечить создание новых технологий получения и применения УДА, а также улучшение уже известных.

При синтезе и модифицировании систем наночастиц, наряду с традиционными стратегиями «вверх» и «вниз» в случае готовой системы наночастиц, которую представляет УДА, оправдано введение понятия и использование так называемой фланговой стратегии [12], [22] с целью подготовки огромной совокупности твердых наночастиц к их дальнейшему использованию при создании самоорганизованных наносистем, введения в качестве компонента в наноконпозиционные материалы и т. п. (рис. 1).

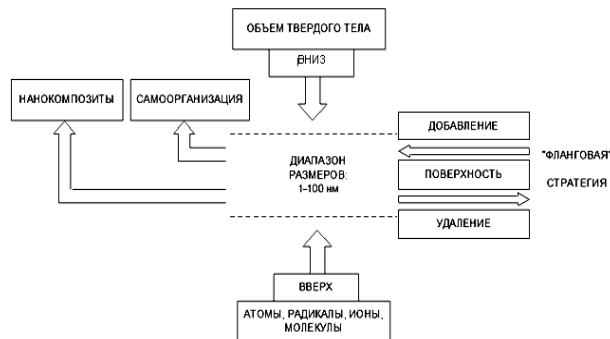


Рис. 1. Три вида стратегии при создании и модифицировании порошкообразного нанопорошка алмаза

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Коммерчески доступный УДА может быть квалифицирован как промышленный полупродукт вследствие наличия в его составе как неалмазного углерода, так и неуглеродных примесей.

В настоящее время наиболее распространенной является жидкофазная технология очистки алмазосодержащей детонационной шихты как от неалмазных форм углерода, так и от неуглеродных примесей в перегретой азотной кислоте (80 атм., 220 °C). Для использования данной технологии необходимы дорогостоящее оборудование и длительный процесс отмывки целевого продукта [6], [17]. Кроме того, поверхность наночастиц алмаза имеет полифункциональный состав, что затрудняет применение УДА при создании наноконпозиционных материалов, использование в качестве адсорбентов и в других областях как традиционной техники, так и новых, в том числе высоких, технологиях. Разрабатываемые нами безжидкостные методы очистки и функционализации поверхности УДА позволили от первоначальной многофункциональной поверхности перейти к практически монофункциональной.

Особенно эффективной представляется обработка в химически активных газовых средах: окислительной, хлорсодержащих (CCl_4 , Cl_2 , HCl) [8], NH_3 , H_2 [13]. В сравнении с обработкой в жидких средах (концентрированные кислородсодержащие кислоты, раствор триоксида хрома и др.) газофазная обработка имеет несомненное преимущество в значительно более высокой скорости массообмена как на стадии взаимодействия газообразных реагентов с пористой средой, так и при отводе из нее продуктов реакций. Кроме того, газофазные процессы не требуют использования операции по разделению жидкой и твердой фаз. Универсальным и эффективным методом очистки УДА от неуглеродных элементов (благодаря летучести их хлоридов) представляется хлорирование с помощью высокотемпературной обработки в парах HCl , CCl_4 или Cl_2 [7].

Методами химического анализа, РФА, Раман-и Фурье-ИК-спектроскопии установлены [22]:

- возможность целенаправленного изменения химической и фазовой чистоты УДА;
- повышение его структурного совершенства;
- преимущественное покрытие поверхности УДА С-COOH-, С-Cl-, С-N- либо С-NH₂-функциональными группами.

Последнее является одним из необходимых условий для управления поведением ансамбля частиц УДА, в частности для обеспечения процессов их самоорганизации, а также повышения эффективности их введения в алмазосодержащие нанокмпозиты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Очистка от неалмазных форм углерода исходной детонационной шихты (ША-А, НПО «СИНТА», Минск) осуществлялась в проточном газовом реакторе в атмосфере азотной кислоты при температуре выше ее разложения и при давлении 1 атм. Получаемый порошок наноалмаза для краткости будем называть УДА-Э.

В ходе очистки от неалмазного углерода также происходит окисление карбидов металлов (FeC_n и пр.).

Метод очистки от неуглеродных примесей (Fe, Al, Cu, Zn и пр.) заключался в следующем: металлические примеси переводились в соответствующие хлориды, которые при температуре > 700 °С имеют существенные величины давления насыщенного пара и могут быть удалены из порошка УДА. Оценка летучести хлоридов металлов примесей проводилась с использованием термодинамического расчетного комплекса «ИВТАНТЕРМО».

Модификация поверхности детонационного алмаза (УДА-СП, полученный из детонационной шихты жидкофазным методом очистки в перегретой азотной кислоте, НПО «СИНТА», Минск) была проведена в проточном газовом реакторе в химически активных газовых средах. Были использованы 4 вида газовых сред при общем давлении 1 атм. и скорости потока ~3 л · час⁻¹: ССl₄ (газ-носитель – Аг особой чистоты), 450 °С, 1 ч; Cl₂, 600 °С, 1 ч; гидрирование (H₂), 850 °С, 1 ч; NH₃, 400 °С, 1 ч (обработка в аммиаке проводилась после обработки в хлоросодержащих газовых средах).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рентгенофазовый анализ и КР-спектроскопия

На рис. 2 представлены дифрактограммы алмазосодержащих продуктов: ША-А, УДА-СП, УДА-Э соответственно, снятые на Fe-излучении. На рис. 2с практически отсутствует гало в малоугловой области (2θ ~ 32 °), что свидетельствует о существенном снижении содержания неалмазного углерода после обработки в окислительной газовой среде.

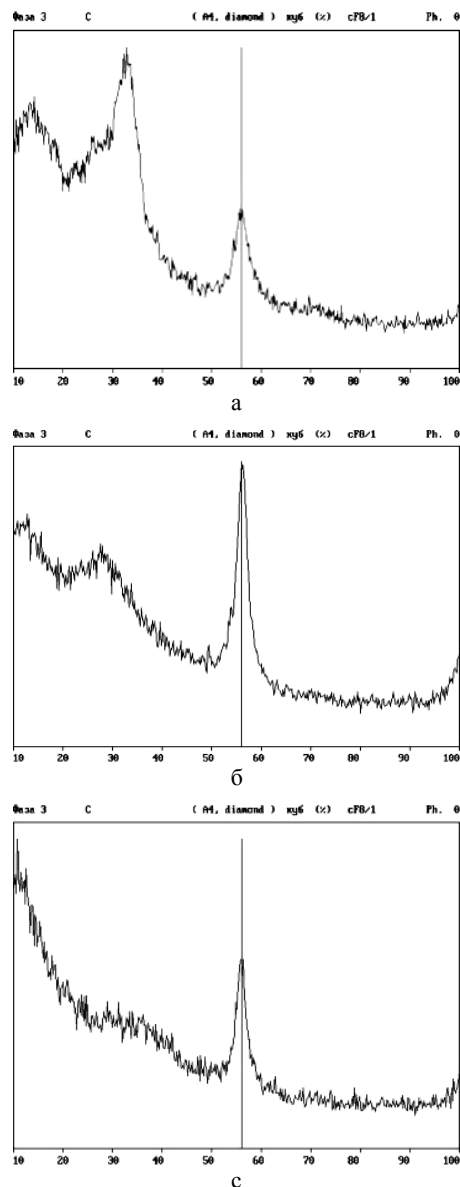


Рис. 2. Дифрактограммы алмазосодержащих продуктов

Таблица 1
ОКР и удельная поверхность
порошков УДА

Образец	ОКР, нм	Удельная поверхность, м ² /г
ША-А	2,9	450
УДА-СП	3,5	310
УДА-Э	4	280

Средний размер области когерентного рассеяния (ОКР) частиц алмазной фазы, согласно данным РФА, представлен в табл. 1.

Исходная детонационная шихта ША-А практически не обнаруживает люминесценции, хотя в ее составе находится не менее 50 масс. % алмазной фазы (рис. 3а). Это связано с большим

поглощением светового излучения в массе исходного продукта детонационного синтеза. При удалении неалмазного углерода появляется заметная люминесценция как от образцов УДА-СП, так и УДА-Э. Очевидно присутствие графита в образцах при снятиях КР-спектров, что затрудняло выход светового излучения в видимой области из объема исследуемого образца.

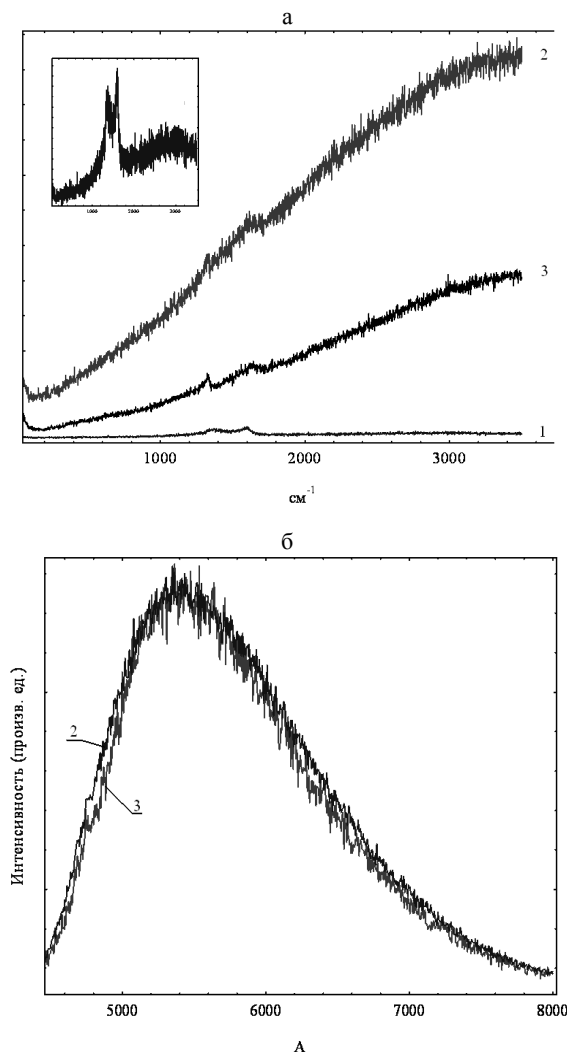


Рис. 3. 1 – ША-А; 2 – УДА-СП; 3 – УДА-Е

На рис. 3б приведены нормированные по интенсивности спектры люминесценции образцов УДА-СП и УДА-Э. Видно, что широкие полосы люминесценции образцов подобны друг другу. Полуширина полосы люминесценции образца УДА-Э несколько меньше полуширины полосы образца УДА-СП. В [19] был сделан вывод, что если в веществе присутствуют взаимодействующие наночастицы, обладающие π - и σ -связями между атомами углерода, то такая система может обладать сильной фотолюминесценцией. С этой точки зрения можно сделать следующий вывод: когда из шихты, состоящей в

основном из разупорядоченного графита, выделяются наноалмазы, мы получаем систему, содержащую σ - и π -связи между атомами углерода и как следствие – усиление интенсивности фотолюминесценции. В [19] было показано, что снижение размеров наночастиц приводит к увеличению интенсивности фотолюминесценции. Если предположить, что образец УДА-Э имеет меньший разброс наночастиц по размерам, то меньшая интенсивность его фотолюминесценции объясняется тем, что в нем снижена доля частиц с меньшими размерами. Меньший разброс размеров наночастиц алмаза также подтверждается сужением полос КР-спектров и фотолюминесценции.

Основная полоса КР-алмаза обычно проявляется в виде характерной узкой линии на частоте 1332 см^{-1} [24]. В случае всех исследованных нами образцов полоса, соответствующая sp^3 -углероду алмазной решетки, проявилась при $\sim 1325\text{ см}^{-1}$ (рис. 4). Небольшое смещение в низкочастотную область и уширение полосы обусловлено наноразмерами алмазных частиц [21].

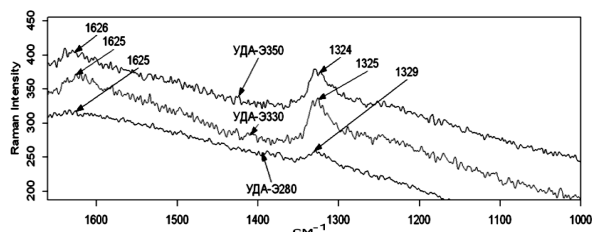


Рис. 4. КР-спектры образцов УДА-Э_{280, 330, 350} (индекс означает температуру окисления ША-А в парах азотной кислоты)

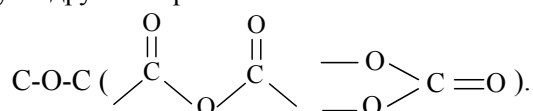
Во всех образцах в области 1625 см^{-1} наблюдается широкий пик, вызванный присутствием в порошках УДА-Э неалмазного углерода, вероятнее всего графита. В спектре КР монокристаллического графита имеется интенсивный максимум при 1585 см^{-1} ; для поликристаллического графита данный пик расщепляется на два пика: 1585 и 1627 см^{-1} . Для образцов УДА-Э_{330, 350, 380} интенсивность алмазного пика весьма велика и сопоставима с интенсивностью пика неалмазного углерода, что указывает на высокое содержания алмазной фазы в порошках УДА-Э, поскольку чувствительность КР по графиту при длине волны возбуждения $> 500\text{ нм}$ превышает чувствительность алмазной фазы в несколько десятков раз.

Для подтверждения фазовой чистоты УДА-Э нами было проведено окислительное химическое титрование бихроматом калия в серной кислоте порошков УДА-Э, полученных при температурах $280\text{--}380\text{ °C}$. Содержание неалмазного углерода составляет $\sim 0,6\text{ масс. \%}$, что совпадает со значением для УДА-СП $\sim 0,5\text{ масс. \%}$ в пределах ошибки метода. Проведенная нами методика окислительного химического титрования не по-

звояет определить точное содержание неалмазного углерода в образцах УДА-СП и УДА-Э, но ее можно использовать для качественного сравнения образцов НА.

ИК-исследования порошков НА

В спектре поглощения УДА-Э (рис. 5) присутствует интенсивная полоса связанных водородными связями поверхностных гидроксильных групп и адсорбированной воды с широким максимумом при 3440 см^{-1} . Полоса 1108 см^{-1} обусловлена присутствием на поверхности мостиковых групп (C-O-C). При 1629 см^{-1} наблюдаются деформационные колебания гидроксильных групп как на поверхности УДА, так и в воде, адсорбированной в порошке УДА. Широкая полоса $1345\text{--}1122\text{ см}^{-1}$ соответствует колебанию алмазной решетки. Полоса 1806 см^{-1} соответствует колебанию карбонильных групп, связанных друг с другом через мостиковые связи



Спектр УДА-СП (рис. 5) подобен спектру УДА-Э с незначительными отличиями. Ответственный за связь ($\text{C}=\text{O}$) находится при 1745 см^{-1} , что указывает на отсутствие мостиковых связей при карбоксильных группах.

Химическое состояние поверхности образцов УДА-СП и УДА-Э подобно, но можно предположить, что на поверхности образца УДА-Э концентрация кислородсодержащих групп выше,

чем на УДА-СП, что выражается в наличии мостиковых C-O-C-связей.

Исследования гидрофильности порошков УДА

Адсорбция влаги из атмосферы воздуха порошками УДА может отражать состояние функционализации поверхности наноалмаза. Согласно литературным данным, увеличение концентрации полярных кислородсодержащих групп на поверхности наноалмаза ($\text{C}=\text{O}$, C-OH, C-O-C) должно приводить к росту гидрофильности поверхности порошков УДА. С целью подтверждения предположения о том, что химическое воздействие паров азотной кислоты на поверхность частиц наноалмаза приводит к ее сильному окислению, были проведены измерения адсорбции воды порошками УДА-Э и УДА-СП из атмосферы воздуха.

Кроме того, представляло интерес исследование влияния температуры обработки ША-А в парах азотной кислоты на гидрофильные свойства поверхности.

Изменение влажности воздуха на 5–10 % от среднего значения в 35 % практически не влияет на количество адсорбированной воды образцами УДА-Э и УДА-СП.

Как видно из рис. 6, количество адсорбированной воды порошками УДА-Э превышает значения для УДА-СП в ~2 раза. Увеличение температуры обработки ША-А в парах азотной кислоты также приводит к увеличению гидрофильности порошков УДА-Э.

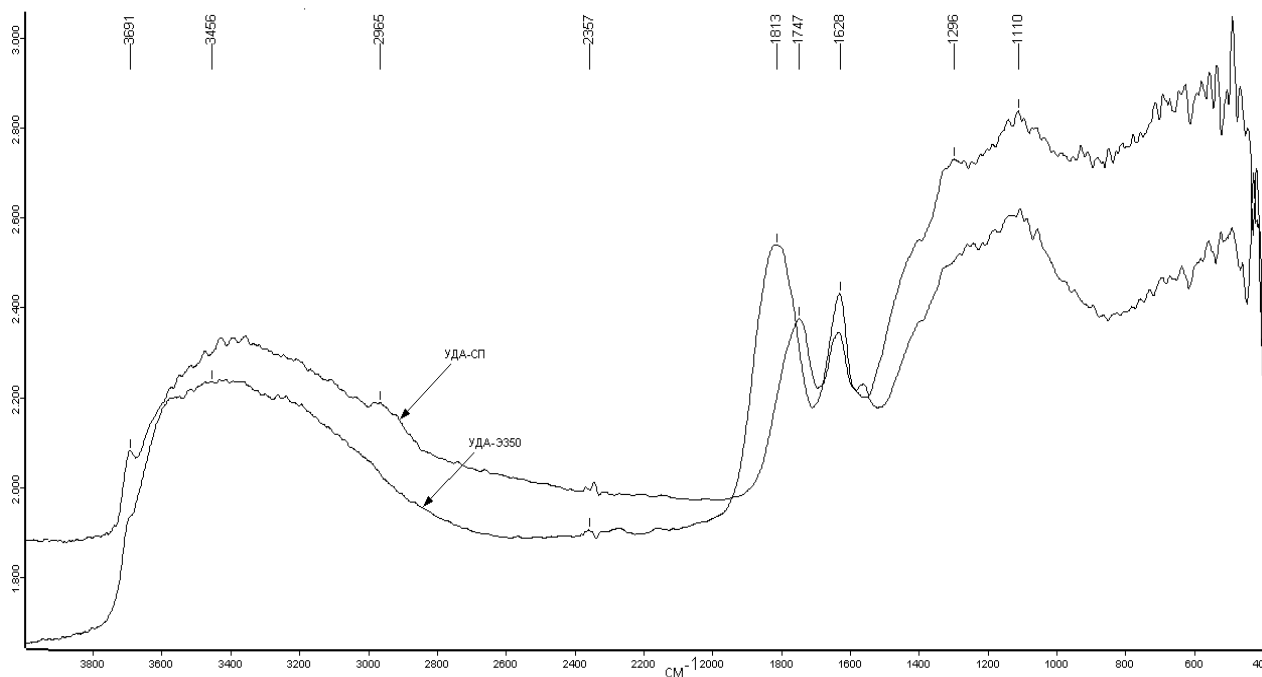


Рис. 5. ИК-спектры УДА-Э и УДА-СП

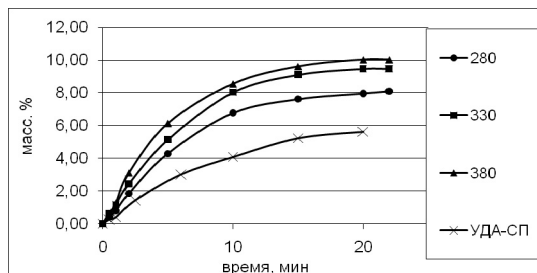


Рис. 6. АДСОРБЦИЯ ПАРОВ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРЫ при относительной влажности воздуха ~35 % порошками УДА-Э (цифры – температура получения УДА-Э) и УДА-СП при 298 К

Полученные данные указывают на то, что обработка в парах азотной кислоты позволяет получить НА с сильно окисленной поверхностью (с высоким содержанием полярных кислородсодержащих групп).

Степень гидрофильности можно количественно оценить по величине свободной энергии

$$(\Delta G_s = -RT \ln \left(\frac{P}{P_n} \right); \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{г}}) \quad [4],$$

где R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; n – число молей воды, адсорбированной 1 г порошка; P – парциальное давление паров воды; P_n – давление насыщенных паров воды.

Электрофизические измерения порошков НА

Из-за огромной разницы в величинах электропроводности алмаза (10^{10} – 10^{12} Ом·см) и неалмазных форм углерода (у графита $\rho \sim 1$ – 10^{-3} Ом·см, у алмазоподобного углерода $\rho \sim 10^3$ – 10^6 Ом·см) измерение электропроводности является чувствительным методом к обнаружению различных фаз углерода в исследованном материале.

Было измерено электросопротивление порошков ША-А, окисленной в парах азотной кислоты (рис. 7), в зависимости от длительности обработки и потери массы порошка ША-А соответственно; проведено сопоставление полученных данных с величиной электросопротивления УДА-СП.

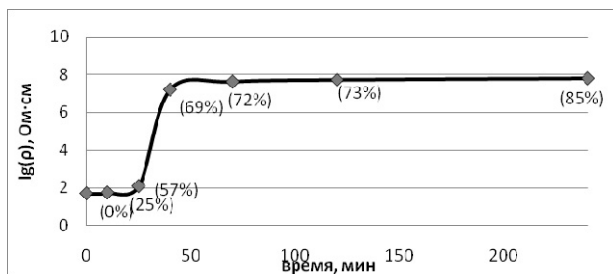


Рис. 7. Зависимость удельного электросопротивления от времени обработки ША-А в атмосфере азотной кислоты (значения, приведенные в скобках, – потеря массы ША-А в процессе окисления)

Таблица 2

Гидрофильность порошков НА:
УДА-СП и УДА-Э

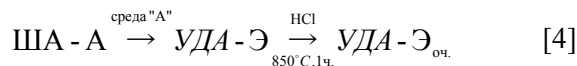
Образец	$\Delta G_s, \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{г}}$
УДА-СП	2,95
УДА-Э ₂₈₀	5,33
УДА-Э ₃₃₀	5,84
УДА-Э ₃₈₀	6,87

Из рис. 7 видно, что значение удельного электросопротивления начинает резко меняться в районе ~57 % потери массы и выходит на плато. Дальнейшая убыль массы детонационной шихты не приводит к увеличению удельного электросопротивления, что свидетельствует о незначительном содержании неалмазного углерода в образце.

Значения удельного электросопротивления образцов УДА-Э и УДА-СП, хорошо осушенных над фосфорным ангидридом, совпадают (10^{12} Ом·см), что подтверждает эффективность метода очистки ША-А в парах азотной кислоты.

Очистка от неуглеродных примесей

Получение УДА из детонационной шихты по схеме



позволяет получить продукт не только фазово-чистый, но и со сниженным содержанием зольных примесей (рис. 8). Однако удаление меди с поверхности частиц УДА составляет отдельную проблему.

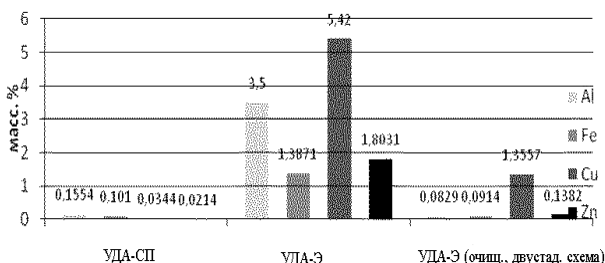


Рис. 8. Содержание металлов примесей в порошках НА: УДА-СП, УДА-Э, УДА-Э (очищенный по двухступенчатой схеме)

Трудность удаления меди из порошка УДА-Э объясняется, по нашему мнению, рядом причин:

- медь, возможно, связана с поверхностью НА;
- хлориды меди легко гидролизуются при высоких температурах (в процессе очистки от неуглеродных примесей хлористым водородом, в реакции с которым оксиды металлов превращаются в хлориды и выделяется вода);
- хлориды меди обладают малой летучестью.

Модификация поверхности УДА

На рис. 9 приведены ИК-спектры исходного и модифицированных образцов. Как видно из представленных рисунков, обработка в газовых средах приводит к изменению структуры поверхности модифицированных образцов по сравнению с исходным УДА.

Гидрирование образца приводит к увеличению интенсивности пиков при 2940 и 2878 см^{-1} , ответственных за валентные колебания С-Н-связей, а также к исчезновению пика при $\sim 1760\text{ см}^{-1}$, отвечающего валентным колебаниям связи С=О (рис. 9). Пик при 1640 см^{-1} несколько снижается, что говорит о снижении концентрации связей С=С. Кроме того, эта область частот отвечает деформационным колебаниям воды, что может говорить об увеличении концентрации гидроксильных групп при восстановлении двойных связей между атомами углерода. Происходит смещение пика, соответствующего колебаниям связи $\nu(\text{C}=\text{C})$, подобной связи между атомами углерода в бензоле, с 1563 до 1466 см^{-1} . Также несколько увеличивается и смещается пик около 1340 см^{-1} , обусловленный валентными колебаниями связи С-О. Данный пик может также отвечать связи О=С-Н. Появляются пики при 1214 и 1165 см^{-1} , которые можно отнести к эфирной связи С-О-С и связи С-О в третичных спиртах со-

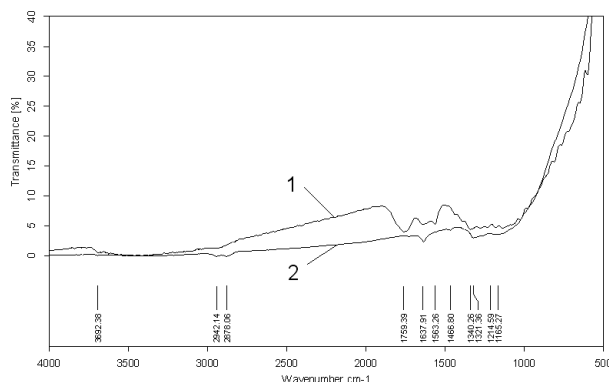


Рис. 9. ИК-спектры для УДА-СП_{исх} (1) и УДА-Н_{2,850} (2)

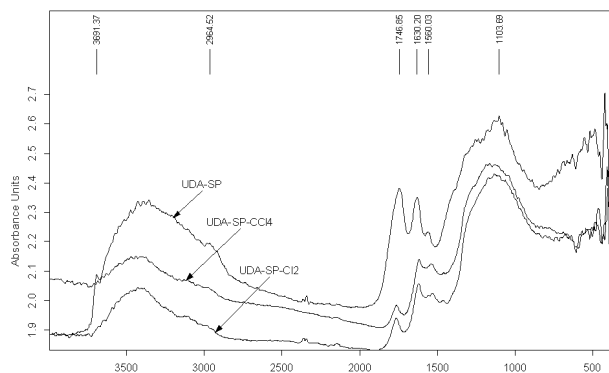


Рис. 10. ИК-спектр исходного УДА-СП, обработанного в парах CCl_4 (УДА-СП- CCl_4) и хлорированного в атмосфере Cl_2 (УДА-СП- Cl_2)

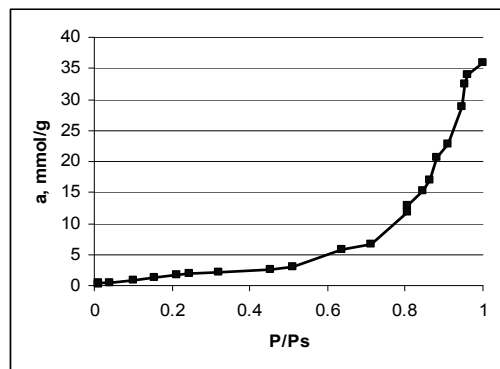


Рис. 11. Адсорбция воды порошком УДА-СП

ответственно. Исходя из этих данных, можно сделать вывод о том, что прогрев УДА-СП в атмосфере водорода приводит к гидрированию поверхности.

Согласно данным ТГА, при окислении гидрированного образца на воздухе происходит первоначальное увеличение массы образца, а только затем ее снижение, что, по всей видимости, связано с окислением С-Н-связей.

ИК-спектры (рис. 10) образцов УДА-СП, обработанных в парах CCl_4 при температуре 450°C и в атмосфере Cl_2 при температуре 600°C , подобны друг другу. На данных спектрах интенсивности пиков 1746 и 1630 см^{-1} снижены в сравнении с УДА-СП, что, по нашему мнению, свидетельствует о хлорировании поверхности. Исчезает вовсе пик при $\sim 1560\text{ см}^{-1}$, обусловленный колебаниями распределенной связи между атомами углерода ($\text{C}=\text{C}$). При этом появляются слабые пики при 1177 и 1122 см^{-1} для УДА-СП- Cl_2 и при 1120 см^{-1} для УДА-СП- CCl_4 , которые можно отнести к валентным колебаниям связи С-Сl.

Косвенным подтверждением хлорирования может служить тот факт, что количество воды, адсорбированной из атмосферы воздуха для хлорированных образцов, составляет 2 масс. % ($\Delta G_s = 1,4\text{ Дж/моль} \cdot \text{г}$), а для УДА-СП – 4,5 масс. % ($\Delta G_s = 2,92\text{ Дж/моль} \cdot \text{г}$). При относительных влажностях в диапазоне 20–45 % нет сильной зависимости между количеством адсорбированной воды и влажностью для хлорированных образцов и исходного УДА-СП (рис. 11).

На рис. 12 представлены ИК-спектры исходного УДА-СП и аминированных УДА-СП после хлорирования в среде CCl_4 и Cl_2 (УДА-СП- $\text{CCl}_4\text{-NH}_3$, УДА-СП- $\text{Cl}_2\text{-NH}_3$). Спектры для обоих образцов подобны. Для УДА-СП- $\text{Cl}_2\text{-NH}_3$ почти полностью исчезает пик при $\sim 1740\text{ см}^{-1}$, отвечающий $\nu(\text{C}=\text{O})$, для УДА-СП- $\text{CCl}_4\text{-NH}_3$ соответствующий пик снижается. Как и для вышеописанных образцов, происходит смещение пика, обусловленного распределенной двойной связью между атомами углерода от 1562 до $\sim 1460\text{ см}^{-1}$. Пик при $\sim 1640\text{ см}^{-1}$ увеличивается. Эта линия относится не только к валентным колебаниям связи С=С, но также обуславливается

валентными колебаниями связи C-N. Слабые пики при 1318 и 1157 см^{-1} для УДА-СП- $\text{Cl}_2\text{-NH}_3$ и при 1276 и 1144 см^{-1} для УДА-СП- $\text{CCl}_4\text{-NH}_3$ можно отнести к деформационным колебаниям связи C-N. Таким образом, высокотемпературная обработка в аммиаке приводит к аминированию поверхности УДА. Частоты колебаний первичных аминов: $\nu(\text{N-H})$ лежат в области 3550–3250 см^{-1} , $\delta(\text{N-H})$ – 1650–1590 см^{-1} , они не наблюдаются, ввиду того, что могут быть закрыты более интенсивными полосами адсорбированной воды [15].

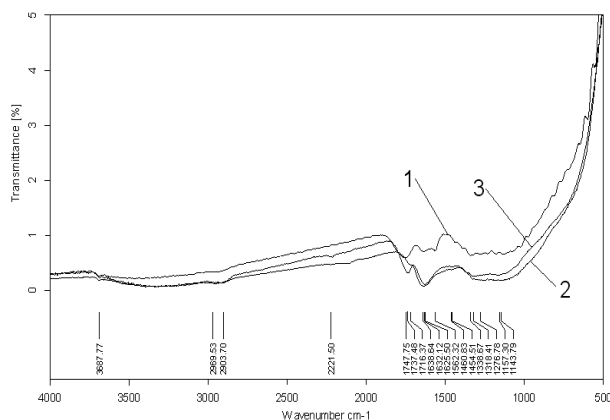


Рис. 12. ИК-спектры для УДА-СП (1), УДА-СП- $\text{CCl}_4\text{-NH}_3$ (2) и УДА-СП- $\text{Cl}_2\text{-NH}_3$ (3)

Косвенным подтверждением аминирования поверхности может служить увеличение адсорбции воды УДА-СП- NH_3 до 10 масс. % ($\Delta G_s = 3,6 \text{ Дж/моль} \cdot \text{г}$).

После аминирования содержание азота в образцах увеличивается в 4 раза (табл. 3), при этом снижается содержание хлора, что говорит о протекании химического взаимодействия на поверхности порошка наноалмаза. Если исходить из того, что реакции аминирования протекают полностью, то объяснить факт, что после аминирования в образцах остается некоторое количество хлора, возможно встраиванием хлора в оболочку частиц УДА.

Окисление исходного порошка УДА описывается 5 термическими пиками, а для образцов, обработанных в водороде, в парах тетрахлорметана, а также в среде хлора – двумя, что свидетельствует о снижении полифункциональности поверхности порошка УДА при обработке в химически активных средах. Для аминированных образцов УДА характерно окисление в один этап.

Таблица 3

Отношение атомного содержания химических элементов в различных образцах УДА-СП (данные приведены на 100 атомов углерода)

Образец	C:N:O:Cl
УДА-СП _{исх.}	100:2.5:6.2:0.02
УДА-СП _{Cl₂,600}	100:1.1:8.5:6.9
УДА-СП _{NH₃ (Cl₂),400}	100:4.6:14.8:1.5

Электропроводность УДА

Электрофизические измерения зависимости проводимости G УДА от температуры проводились для четырех образцов: УДА-СП, УДА-СП- H_2 , УДА-СП- CCl_4 и УДА-СП- Cl_2 .

Каждое измерение состояло из 1–2 циклов, затем образцы окисляли на воздухе и снова проводили измерения. Предварительно были сняты вольт-амперные характеристики каждого из образцов, измерения электропроводности проводились на омическом участке ВАХ. Полученные результаты представлены на рис. 13–15.

При комнатной температуре минимальной проводимостью обладает исходный порошок УДА-СП. Гидрирование увеличивает проводимость G на 2 порядка – от $\sim 10^{-14}$ до $\sim 10^{-12} \text{ Ом}^{-1}$, хлорирование в четыреххлористом углероде приводит к увеличению проводимости на 1 порядок, а хлорирование в среде хлора – на 2. Привитые при модифицировании поверхности функциональные группы, а также их концентрация влияют на спектр электронных состояний алмаза, в результате чего повышается проводимость УДА. Это подтверждается тем, что в исследованном интервале температур проводимость образцов носит активационный характер (о характере проводимости можно судить по форме кривых зависимости $G(T)$) и подчиняется закону:

$$G = G_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{kT}}.$$

Для образцов УДА-СП_{исх} и УДА-СП_{Н₂,850} зависимость проводимости $G = f(T)$ описывается двумя экспонентами с энергиями активации $E_{ан}$ в области $293 < T < 400 \text{ К}$, и $E_{ав}$ при $400 < T < 700 \text{ К}$. Зависимость $G(T)$ для хлорированных порошков описывается одной экспонентой с одной энергией активации. Энергии активации приведены в табл. 4.

Типичная для алмаза величина энергии активации, обусловленная наличием азота в его решетке, проявляется только для исходного порошка УДА-СП в области высоких температур и равна $\sim 1,7 \pm 0,02 \text{ эВ}$.

Исходя из полученных данных предположим, что проводимость модифицированных порошков может быть связана с наличием поверхностных функциональных групп, играющих определяющую роль в данном процессе.

Температурная зависимость проводимости измерялась в 2 циклах: нагревания и охлаждения. Для гидрированных образцов (рис. 13) изменилась форма кривой. Это говорит о снижении $E_{ан}$, при этом проводимость при высоких температурах остается прежней, что может быть связано с удалением адсорбированной воды. Для хлорированных образцов (рис. 14, 15) наблюдается параллельное смещение зависимости проводимости при прогреве в вакууме до 430 $^{\circ}\text{C}$. Это говорит о том, что энергии активации проводимости остаются постоянными, а величина проводимости

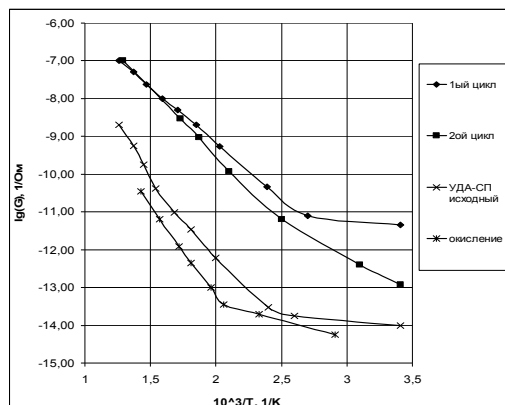


Рис. 13. Зависимость проводимости $G(T)$ для образца УДА-СП- H_2 в сравнении с УДА-СП

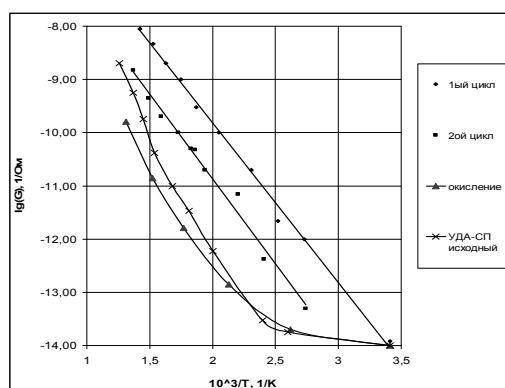


Рис. 14. Зависимость проводимости $G(T)$ для образца УДА-СП- CCl_4 в сравнении с УДА-СП

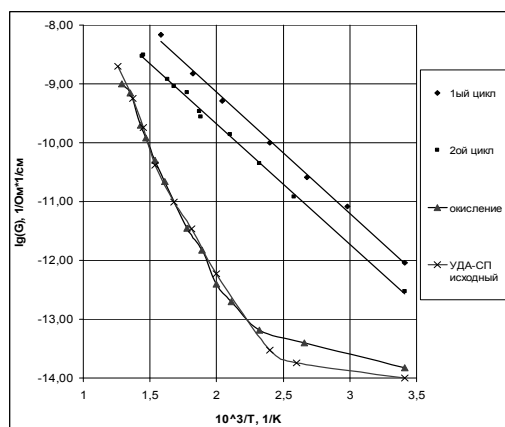


Рис. 15. Зависимость проводимости $G(T)$ для образца УДА-СП- $Cl_{2,600}$ в сравнении с УДА-СП_{исх}

Таблица 4

Энергии активации проводимости для исходного и модифицированных образцов УДА

Образец	Энергия активации E_a	
	$E_{ан}$	$E_{ав}$
УДА-СП	$0,3 \pm 0,02$	$1,7 \pm 0,02$
УДА-СП- H_2	$0,42 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,02$
УДА-СП- CCl_4	$0,58 \pm 0,02$	
УДА-СП- Cl_2	$0,55 \pm 0,02$	

снижается. Объяснить это можно тем, что после прогрева происходит снижение концентрации функциональных групп, привитых к поверхности при хлорировании, которые и обусловили повышение проводимости, а энергетическое положение электронных состояний осталось постоянным.

После окисления исследуемых образцов на воздухе при температуре $\sim 450^\circ C$ в течение 30 мин их проводимость заметно снижается, практически возвращаясь к уровню УДА-СП.

ВЫВОДЫ

Разрабатываемые нами газофазные методики модификации и очистки УДА позволяют, в частности, получать наноалмаз с различной химической терминацией поверхности и как следствие – адсорбционными [1], [2], электрофизическими и другими свойствами. Одним из важных новых результатов является установленная возможность перейти от первоначальной многофункциональной поверхности к практически монофункциональной. Получение УДА с заданным химическим составом поверхности позволит расширить применение наноалмаза в газовой и жидкостной хроматографии [1], в медицине и биологии [3], [15].

Одним из основных факторов, сдерживающих применение УДА в промышленности, науке и технике, остается его низкая седиментационная устойчивость в водных растворах.

В настоящее время в литературе известна только одна эффективная технология дезагрегации УДА – в шаровой мельнице с шариками микронного размера из стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония [20].

Можно предполагать, что использование электрогидродинамического удара (эффект Юткина) позволит диспергировать порошки УДА непосредственно в среде растворителя и получать устойчивые коллоидные системы УДА – воду и прочие жидкости.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность за предоставление образцов УДА и детонационной шихты А. П. Корженевскому и Ф. Н. Олесику. Мы признательны М. Р. Киселеву за проведение ТГА, В. Г. Севастьянову – за предоставление возможности проведения термодинамических расчетов на комплексе «ИВТАНТЕРМО», Г. А. Петуховой, Н. Н. Мельнику – за проведение исследований и обсуждение результатов, А. Г. Чопуровой – за участие в экспериментах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белякова Л. Д., Буланова А. В., Ларионов О. Г., Паркаева С. А., Спицын Б. В. Исследование химии поверхности ультрадисперсного алмаза методом газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8. Вып. 1. С. 66–74.
2. Белякова Л. Д., Кудинова А. Н., Ларионова А. О., Ларионов О. Г., Спицын Б. В. Исследование поверхностных свойств ультрадисперсного алмаза методом газовой хроматографии // Журнал физической химии. 2008. Т. 82. С. 503.
3. Бондарь В. С., Пузырь А. П. и др. Детонационные наноалмазы: создание новых материалов и технологий для выделения белков // Российские нанотехнологии. 2008. № 56. С. 42–45.
4. Верещагин А. Л. Детонационные наноалмазы. Барнаул: БГУ, 2001. 176 с.
5. Верещагин А. Л. Свойства детонационных алмазов. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2005. 174 с.
6. Даниленко В. В. Синтез и спекание алмаза взрывом. М.: Энергоатомиздат, 2003. 272 с.
7. Денисов С. А. Разработка газофазного метода очистки продуктов детонационного синтеза наноалмаза от неалмазного углерода и неуглеродных примесей: Дипломная работа. РХТУ, 2009.
8. Денисов С. А., Чопурова А. Г., Спицын Б. В. Воздействие газовой обработки на поверхностные свойства наноалмаза // Успехи в химии и химической технологии. 2007. Т. 21. № 8. С. 67–71.
9. Долматов Б. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза: свойства и применение // Успехи химии. 2001. Т. 70. С. 671.
10. Рыжов Е. В., Кошечев Ю. Л., Денисов С. А., Кузнецов С. А. Наноалмазные покрытия для ремонта производственной оснастки // Журнал РИТМ (в печати).
11. Спицын Б. В. Проблемы и достижения физико-химической и инженерной науки в области наноматериалов. М.: Изд-во ГНЦ РФ НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 2002. Т. 2.
12. Спицын Б. В., Денисов С. А. и др. Функционализация наночастиц детонационного алмаза // Современные проблемы физической химии наноматериалов. М.: Физматлит, 2008.
13. Чопурова А. Г. Газофазные методы модификации поверхности продуктов детонационного синтеза наноалмаза: Дипломная работа. РХТУ, 2009.
14. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986. 253 с.
15. Amanda Schrand M., Ciftan Hens Suzanne A., Shenderova Olga A. Nano-diamond Particles: Properties and Perspectives for Bioapplications // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2009. Vol. 34. P. 18–74.
16. Burkat G. K., Dolmatov V. Yu., Osawa E., Orlova E. A. Investigation of properties of chromium-diamond coatings based on detonation producers // 9th biennial international workshop Fullerenes and atomic clusters. July 6–10, 2009, St. Petersburg, Russia.
17. Dolmatov V. Yu., Sushev V. G., Marchukov V. A., Krauklich I. V., Veretennikova M. V. Effective purification of detonation synthesis nanodiamonds (DND) with diluted nitric acid // Program Book of 2nd conference on NDNC 2008 (New Diamond & Nano carbons). Taipei, Taiwan, May 26th–29th. 2008. P. 193.
18. Kulakova I. I. Surface chemistry of nanodiamonds // Phys. Solid State. 2004. Vol. 46. P. 636–643.
19. Melnik N. N., Zavaritskaya T. N., Karavanski V. A. Surface and bulk states of disordered carbon and their optical properties // Proc. SPIE. 2004. Vol. 5507. P. 103–109.
20. Osawa E. Recent progress and perspectives in single-digit nanodiamond // Diamond and Related Materials. 2007. Vol. 16. Issue 12. P. 2018–2022.
21. Qian J., Pantea C., Huang J. et al. Graphitization of diamond powders of different sizes at high pressure – high temperature // Carbon. 2004. Vol. 42. P. 2691–2697.
22. Spitsyn B. V., Davidson J. L., Gradoboev M. N., Serebryakova N. V., Karpukhina T. A., Kulakova I. I., Melnik N. N. Inroad to modification of detonation nanodiamond // Diamond and Related Materials. 2006. Vol. 15. № 2–3. P. 296–299.
23. Von H. Schafer, Etzel K. Über die Wanderung von Kupfer(I)-oxyd und von Kupfer im Temperaturgefalle // Z. Anorg. Allg. Chem. 1957. B. 291. S. 294–304.
24. Yushin G. N., Osswald S., Padalko V. I. et al. Effect of sintering on structure of nanodiamond // Diamond & Related Materials. 2005. Vol. 14. P. 1721–1729.

УДК 622.026.01

АНАТОЛИЙ ФЕДОРОВИЧ УСОВ

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
начальник научно-организационного отдела, Кольский на-
учный центр РАН
usov@admksk.apatity.ru

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ: НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОСОБА И ОПЫТ РАЗРАБОТКИ

Изложены физические основы электроимпульсного способа разрушения материалов – формирование канала пробоя в твердом теле на импульсном напряжении в микросекундном диапазоне воздействия и закономерности его разрушения действием канала электрического разряда при выделении в нем энергии емкостного накопителя.

Ключевые слова: электроимпульсное разрушение материалов, электрический пробой, канал разряда

Российскими учеными предложен и всесторонне исследован электроимпульсный способ разрушения материалов (ЭИ). Заложены основы нового научного направления в электрофизике – физики электровзрыва в конденсированных средах и его технологического применения для разрушения материалов (электроимпульсная технология). Выполненными работами созданы научно-технические основы для появления высокопроизводительных, энергетически и технологически эффективных технических средств и процессов для горного дела, инженерного строительства, переработки минерального сырья.

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Разрушающее действие разрядов атмосферного электричества известно давно. В литературе описаны многочисленные случаи наблюдавшегося в природе разрушения естественных объектов и сооружений (деревья, скалы, башни, железобетонные опоры и т. п.) при ударе в них молнии. Электрический пробой твердой изоляции в электрических аппаратах и в системах передачи импульсного высокого напряжения также, как правило, сопровождается ее механическим разрушением. Полезное использование наблюдавшегося эффекта разрушения твердых тел электрическим разрядом для разрушения горных пород и руд было предложено в 50–60-е годы прошлого века несколькими отличающимися способами, которые составили класс импульсных электроразрядных способов разрушения материалов.

Согласно первоначальному предложению профессора А. А. Воробьева [1], электрический пробой твердого тела достигался использованием высокого импульсного напряжения, как это имеет место при пробое твердых диэлектриков в исследованиях электрической прочности. Однако, чтобы реализовать данный вариант способа, требуется создать особые условия для пробоя,

которые бы гарантировали сквозной электрический пробой твердого тела и исключали возможность электрического разряда по поверхности твердого тела (разряда перекрытия). Отбойка породы от массива возможна при расположении электродов в отдельных специально выбуренных шпурах так, чтобы путь перекрытия по поверхности был значительно больше разрядного промежутка в твердом теле; в крайнем случае, для пород с низкой электрической прочностью (сланцы, каменные угли), – при ступенчатой форме забоя. Именно в таком варианте впервые в 1953 году И. И. Каляцким (Томский политехнический институт) был опробован способ отбойки углей электрическим пробоем с использованием генераторов импульсного напряжения (ГИН) типа Аркадьева – Маркса.

Оригинальное решение было найдено в варианте способа, который в дальнейшем получил название электроимпульсного разрушения материалов. Его основой является эффект внедрения разряда в твердое тело на импульсном напряжении в микросекундном диапазоне воздействия [2], зарегистрированный как научное открытие «Закономерность пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульсов напряжения» (А. А. Воробьев, Г. А. Воробьев и А. Т. Чепиков, приоритет от 14 декабря 1961 года) и иллюстрируемый на рис. 1.

В традиционных условиях на постоянном и переменном напряжении, на импульсном напряжении миллисекундного диапазона при значительной вариации электрической прочности различных диэлектриков наиболее общим случаем является тот, что электрическая прочность твердых диэлектриков выше прочности жидких диэлектриков и еще в большей степени – газов. В этом случае разряд в промежутке между электродами, наложенными на подвергаемый разрушению массив с одной свободной поверхности и даже на кусковой фрагмент породы, развивается по поверхности массива или фрагмента с мини-

мальным эффектом разрушения за счет электрогидравлического воздействия. При сокращении экспозиции импульсного напряжения электрическая прочность диэлектриков растет (зависимость описывается ВСХ), однако прочность твердых тел возрастает в меньшей степени, чем жидких сред и газов. В результате этого наступает инверсия соотношения электрических прочностей сред: в диапазоне времени воздействия менее 10^{-6} с электрическая прочность горных пород становится ниже прочности диэлектрических жидкостей, а при экспозиции напряжения менее $(1-2) \cdot 10^{-7}$ с – ниже прочности технической воды.

Точка пересечения вольт-секундных характеристик (критериальная крутизна фронта импульса напряжения A_k) соответствует равенству прочностей и вероятностей электрического пробоя сравниваемых сред. В области инверсии прочностей (на диаграмме в области левее A_k) при подаче импульса напряжения на электроды, установленные на поверхности твердого тела, электрический разряд формируется уже непосредственно в твердом теле и разрушает его. Среда, окружающая разрушаемый материал с токоподводящими электродами, выполняет в процессе прежде всего роль агента, способствующего электрическому пробоем твердого тела, и обеспечивает технологическую функцию удаления продукта разрушения из зоны реализации процесса.

Техническими средствами реализации способа в различных технологических процессах являются многоэлектродные конструкции, позволяющие превратить единичные акты разруше-

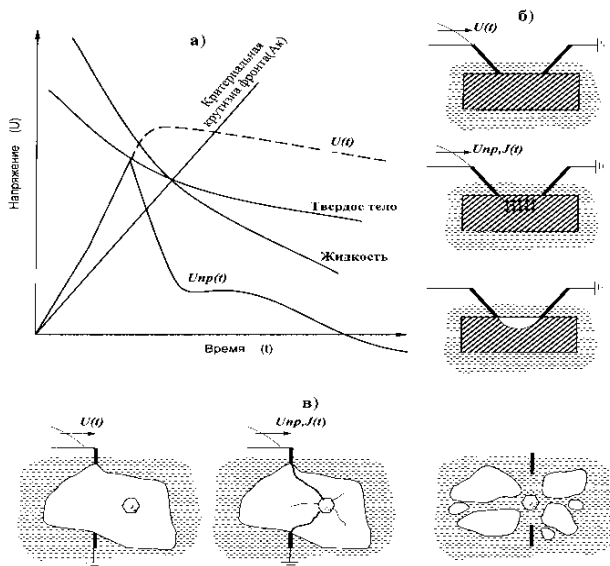


Рис. 1. Принцип электроимпульсного разрушения: а) сопоставление вольт-секундных характеристики (ВСХ) различных сред; б) последовательность процессов пробоя и разрушения в системе с одной свободной поверхностью; в) последовательность процессов пробоя и разрушения фрагментов материала

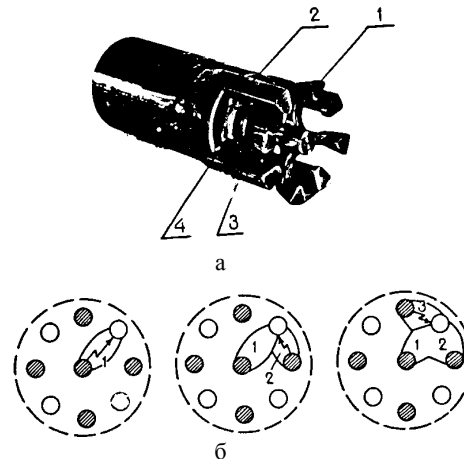


Рис. 2. Буровой наконечник (а) и последовательность пробоя и разрушения забоя скважины многоэлектродным устройством (б). Штриховкой отмечены потенциальные электроды

ния в непрерывный технологический процесс со свойственными ему техническими параметрами. Важнейшим элементом физической основы способа является физический феномен автоматического распределения разрядов в разрядных промежутках многоэлектродной породоразрушающей конструкции. Принцип автоматического распределения разрядов в разрядных промежутках многоэлектродной породоразрушающей конструкции действует следующим образом. При пробое в одном из промежутков (1) образовавшаяся в поверхностном слое массива после разрушения воронка заполняется жидкостью, что приводит к электрическому упрочнению промежутка в данном участке забоя. Поэтому последующие разряды происходят поочередно в соседних промежутках (2, 3, ...), обеспечивая полное разрушение породы по всей площади забоя и циклическое перемещение электродного устройства в скважине.

Принцип автоматического распределения разрядов по площади забоя при использовании многоэлектродных конструкций позволяет обеспечить непрерывность процесса разрушения массива на забое в процессе бурения или последовательное сокращение крупности кускового материала в процессах его дезинтеграции без каких-либо специальных мер (вращение инструмента, классификация материала по крупности и принудительная коммутация разрядов и т. п.). Забоя разрушения за счет соответствующего выбора формы электродов и их расположения может быть придана любая произвольная форма – круглая, прямоугольная, щелевая, кольцевая и т. д.

Исследованию физических закономерностей и технологическому опробованию новых технологий посвящен монографический цикл работ [8], [6], [5], отмеченный премией им. П. Н. Яблочкова Российской академии наук за 2003 год. Ниже приводятся лишь краткие сведения об объектах исследования и основных результатах этих работ.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Практическая возможность использования способа в конкретных технологических целях в значительной степени определяется электрическими и энергетическими параметрами процесса, такими как уровень рабочих напряжений U , производительность единичного разряда V , энергоемкость разрушения W . Приоритетности этих показателей подчинены изучение физических основ, оптимизационные исследования техники и технологии способа. Уровень рабочего напряжения определяет техническую и эксплуатационную надежность техники. При слишком высоком уровне рабочего напряжения снижаются надежность работы изоляционных элементов, стабильность работы генерирующей аппаратуры, повышаются габариты оборудования. Производительность и энергоемкость разрушения определяют экономическую эффективность технологии.

Механизм ЭИ может быть представлен двумя процессами, действующими во времени друг за другом: образованием в результате электрического пробоя в поверхностном слое твердого тела канала разряда и последующим разрушением твердого тела под действием механических напряжений, возникающих в результате расширения канала разряда при выделении в нем энергии емкостного накопителя. Первая стадия процесса определяет уровень напряжения, при котором реализуется процесс (рабочее напряжение). Выбором оптимальных параметров импульсного напряжения и условий пробоя (вид среды, геометрия электродной конструкции) достигаются минимальные градиенты напряжения пробоя. На второй стадии процесса за счет оптимизации преобразования энергии накопителя в работу разрушения достигается минимальная энергоемкость разрушения материала.

Феноменология пробоя

Разрядный процесс в промежутке (рис. 1б) начинается с развития многочисленных «кистевых» разрядов по поверхности твердого тела с обоих электродов. По мере продвижения «кистевых» разрядов с их головок инициируются многочисленные каналы неполного пробоя в твердом теле, прорастающие с электродов навстречу друг другу. Финальная стадия процесса представляет собой смыкание каналов разряда в твердом теле, которое опережает по времени возможное при других условиях смыкание кистевых разрядов по поверхности. Характер разрядных процессов существенно зависит от полярности импульса и расположения электродов относительно поверхности твердого тела. Практическую значимость в этих исследованиях имеют данные о технологической эффективности пробоя, показателем которой служит величина потенциального объема разрушения V , оп-

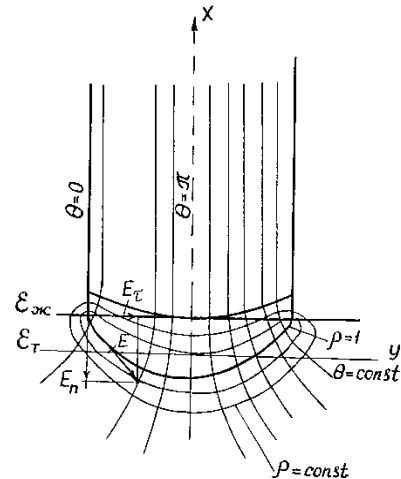


Рис. 3. Картина электрического поля в системе с электродами на границе двух сред

ределяемая протяженностью l_s и глубиной внедрения разряда в твердое тело h .

Имеются попытки аналитического рассмотрения задачи о глубине внедрения канала разряда в твердое тело. И. И. Каляцким задача рассмотрена в приближении, соответствующем замене реальной картины электрического поля между электродами породоразрушающего устройства полем на краю пластин плоского конденсатора [6]. Предполагалось, что разряд развивается по направлению, соответствующему силовой линии поля максимальной напряженности, и при условии, что внедрение разряда начинается непосредственно с острий электродов или из точек, исчезающе мало удаленных от острий (рис. 3).

Для случая, когда диэлектрические проницаемости жидкости и твердого тела равны, имеем следующую систему параметрических уравнений:

$$x = \frac{l}{2\pi} (-\cos \theta - \ln _), \quad (1a)$$

$$y = \frac{l}{2\pi} [-\sin \theta + (\pi - \theta)], \quad (1б)$$

где $0 < \varpi < \infty$, $0 \leq \theta \leq \pi$, l – расстояние между электродами. При $\theta = \text{const}$ получаем уравнение для линии равного потенциала, при $\varpi = \text{const}$ – для силовых линий поля.

Линия максимальной напряженности поля описывается следующей системой уравнения (при $\varpi = 1$):

$$x = l/2\pi \cdot \cos \theta, \quad (2a)$$

$$y = l/2\pi \cdot [\sin \theta + (\pi - \theta)]. \quad (2б)$$

Максимальный прогиб силовой линии (глубина внедрения) h будет:

$$h = x_{\theta=0} - x_{\theta=\pi} = l/2\pi(\cos\theta - \cos\pi) = l/\pi \approx 0.32l. \quad (3)$$

Длина канала разряда в твердом теле l_s , соответственно, будет:

$$l_p = 2 \int_0^\pi l/2\pi \sqrt{2(1 - \cos\theta)} d\theta = 4l/\pi \cos\theta/2 \Big|_0^\pi = 4l/\pi = 1.27l. \quad (4a)$$

Или

$$l_s = 2 \int_0^\pi l/2\pi \sqrt{2(1 - \cos\theta)} d\theta = 4l/\pi \cdot \cos\theta/2 \Big|_0^\pi = 4l/\pi = 1.27l. \quad (4б)$$

Потенциальный объем откольной воронки, если принять его за половину объема эллипсоида с полуосями, равными $l/2$, l/π и $l/2\pi$, будет:

$$V_0 = 2/3\pi \cdot l/2 \cdot l/\pi \cdot l/2\pi = l^3/6\pi \approx 0.053l^3. \quad (5)$$

Результаты аналитического рассмотрения задачи о глубине внедрения разряда частично подтверждаются моделированием поля в электролитической ванне по методике полной проводимости электролитов [4]. Различными авторами выполнены представительные экспериментальные исследования, ставившие целью выявить зависимость глубины внедрения и параметров разрушения от таких контролируемых факторов пробоя, как межэлектродное расстояние, амплитуда и форма импульса напряжения, диэлектрические и прочностные свойства жидкой среды и твердого тела. Эти исследования выполнены на большой гамме горных пород (более 100 разновидностей) при пробое их в трансформаторном масле, дизельном топливе, растворах на нефтяной основе, воде. Оказалось, что в реальных условиях h находится в значительной зависимости от вещественного состава, структуры и текстуры горных пород; коэффициент пропорциональности в соотношении $h(l)$ изменяется в пределах от 0,1 до 0,6, а степенной показатель в соотношении $V(l)$ варьирует в пределах $1,5 \div 2,7$. Удельные энергетические затраты на разрушение W при увеличении разрядного промежутка l снижаются пропорционально степени $1,5 \div 2,0$. Для практического использования способа особо важно следующее. Соотношения $h(l)$ и $V(l)$ указывают на эффективность способа повышения производительности V и снижения энергоемкости W электроимпульсного разрушения за счет использования увеличенных разрядных промежутков l .

Критериальные условия и вероятность пробоя

Критериальный параметр $A_k = U/t$, соответствующий равновероятности пробоя в параллельной системе сред и выражаемый крутизной

фронта косоугольного импульса напряжения (рис. 1а), в значительной степени определяется тремя главными факторами: видом горной породы, видом окружающей частицу разрушаемого материала внешней среды, формой импульса напряжения. В меньшей степени A_k зависит от геометрии электродов, величины разрядного промежутка и соотношения размеров разрядного промежутка и разрушаемого твердого тела. Наиболее существенно A_k зависит от вида среды. При пробое крепких горных пород в диэлектрических жидкостях $A_k = 200\text{--}500$ кВ/мкс и $2000\text{--}3000$ кВ/мкс при пробое в технической воде. Применение данного критерия правомочно в достаточно широком диапазоне разрядных промежутков $10^{-2}\text{--}10^{-1}$ м и для геометрии электродов, свойственных технологическим устройствам разрушения пород. На прямоугольных импульсах напряжения вольт-временные характеристики имеют подобный вид, но абсолютные значения электрической прочности сред на 10–15 % ниже. При иных промежуточных формах импульса напряжения требуется и возможно введение корректирующих коэффициентов.

Показана возможность аналитической оценки вероятности пробоя в параллельной системе диэлектриков, для чего требуется лишь задать описание ВСХ отдельных сред и функции распределения напряжения пробоя (И. И. Каляцкий [6]). В качественном отношении результаты таких оценок достаточно верно отражают экспериментально наблюдаемую картину зависимости вероятности внедрения от крутизны фронта импульса напряжения и могут быть использованы в практических целях на этапе предварительного выбора параметров импульсного напряжения для реализации электроимпульсного процесса.

По экспериментальным данным, для горных пород преобладающей тенденцией является повышение вероятности внедрения с ростом крутизны фронта импульсов напряжения и межэлектродного расстояния, и это выводит на соответствующую рекомендации для повышения эффективности пробоя – увеличивать разрядные промежутки, уменьшать фронт импульса вплоть до наносекунд (10^{-9} с).

Напряжение пробоя и рабочие напряжения

Исследования электрической прочности горных пород и жидкостей как необходимый этап для выявления оптимальных условий реализации ЭИ-процесса выполнены в широком диапазоне изменения переменных параметров: экспозиции импульсного напряжения – от 10^{-5} до 10^{-7} с (на импульсах прямоугольной формы – в пределах до 10^{-8} с), разрядных промежутков – до 10^{-1} м (в отдельных случаях – до 0,3 м), давления – до 150 атм, величины сосредоточенной нагрузки на электрод – до 2500 кг/см², температуры – до 160 °С [3]. Исследования охватывают обширную гамму типов горных пород с диапазоном изменения

физико-механических свойств по контактной прочности – $64 \div 290 \text{ кг/мм}^2$, пористости – $1 \div 20,4 \%$, прочности на сжатие – $150 \div 3900 \text{ кг/см}^2$. Сопоставление ВСХ ряда горных пород, диэлектрической жидкости – трансформаторного масла и воды – представлено на рис. 4. Электроимпульсному пробое и разрушению подвержена преобладающая масса горных пород и руд, за исключением лишь отличающихся сплошной металлической проводимостью (сплошные магнетитовые и полиметаллические руды).

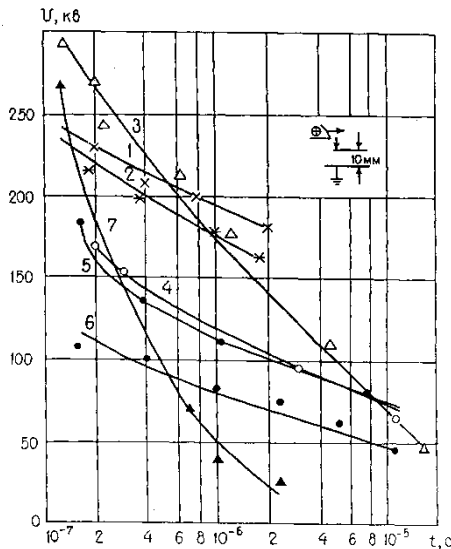


Рис. 4. Вольт-секундные характеристики пробоя некоторых горных пород и жидких сред на косоугольных импульсах напряжения: 1 – кварц; 2 – фельзит-порфир; 3 – трансформаторное масло; 4 – мрамор; 5 – глинистый сланец; 6 – песок; 7 – вода при $\rho = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Для оценки области наиболее эффективного применения ЭИ-технологии важное значение имеет то, что горные породы по электрической прочности различаются в меньшей степени, чем по физико-механическим свойствам. Например, кварцит и песок по прочности на сжатие отличаются в 7 раз, а по электрической прочности – менее чем в 2 раза. С ростом механической прочности (крепости) пород эффективность ЭИ-разрушения снижается существенно в меньшей степени, чем при разрушении традиционными механическими способами, то есть относительная эффективность его использования в сравнении с механическими способами растет. Поэтому, хотя ЭИ-способ может быть применен для разрушения горных пород любой механической прочности, наибольший технико-экономический эффект его применения достигается на особо крепких горных породах и мерзлых грунтах.

Предложены эмпирические соотношения для описания зависимости напряжения пробоя от основных факторов: вида горной породы и жидкости, формы импульсного напряжения, величины разрядного промежутка. Для оценочных целей укажем средние значения напряжения про-

боя горных пород в промежутке 10^{-2} м . Они составляют $50\text{--}100 \text{ кВ/см}$ при пробое в диэлектрических жидкостях и достигают $250\text{--}300 \text{ кВ/см}$ при пробое крепких горных пород в технической воде. Показатель в степенной функции $U(l)$, отражающий рост напряжения пробоя с увеличением разрядного промежутка, не превышает 0,5. Это имеет большое практическое значение – существует эффективная возможность повысить производительность ЭИ-процесса за счет применения электродных конструкций с увеличенными разрядными промежутками, но при этом рабочее напряжение остается на приемлемом уровне. В разработанных технологических процессах величина разрядного промежутка изменяется в пределах $0,01\text{--}0,3 \text{ м}$, уровень рабочего напряжения составляет $250\text{--}800 \text{ кВ}$.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Искровой канал в твердом теле выступает как преобразователь электрической энергии во внутреннюю энергию продуктов канала, далее переходящую последовательно в работу по его расширению, в энергию поля механических напряжений и деформаций, в энергию вновь образованной поверхности продукта разрушения. Существующие методы расчета потерь энергии на каждом этапе ее преобразования и его оптимизации позволяют по параметрам электрической схемы источника импульсов рассчитать внутреннюю энергию продуктов канала E_0 , оценить потери с истечением плазмы вне твердого тела и рассеивание в форме теплоты и оценить долю, трансформируемую в работу расширения канала в твердом теле A . Определяющие $A(t)$ параметры давления плазмы $p(t)$, объема и радиуса канала $V(t)$, $r(t)$, являясь результатом реакции среды на изменение внутренней энергии канала, зависят как от режима выделения энергии в канале, так и от упругих свойств среды. Решение краевой задачи расширения канала в твердом теле выводит на установление параметров возникающего в твердом теле нестационарного поля механических деформаций и напряжений. Возбужденная в твердом теле волна поля механических напряжений частично реализуется в полезном эффекте ЭИ – нарушении сплошности твердого тела, то есть его разрушении, значительной же частью выносится с волной давления вне твердого тела, рассеивается на дислокациях, преобразуется в тепло. Эффективность использования волны поля механических напряжений зависит от параметров самой волны давления, а также от особенностей механизма разрушения твердого тела в условиях динамического нагружения (скорости и концентрации очагов роста трещин).

Результаты исследований этих процессов дают возможность расчета конечных показателей разрушения и обоснования оптимальных

режимов реализации процесса. Аналитическое решение всего комплекса вопросов, имеющее конечной целью определение параметров разрушения и оптимизацию параметров энергетического блока, практически невозможно. Более продуктивен метод, комбинирующий аналитическое рассмотрение с использованием полученных экспериментальным путем эмпирических и полуэмпирических аппроксимаций закономерностей и параметров с общей оценкой погрешности и достоверности полученных результатов.

Расширение канала разряда

На стадии преобразования энергии основная информация о процессе содержится в регистрируемых параметрах расширения и излучения канала разряда. По ним можно судить о температуре, давлении, степени термодинамических превращений вещества твердого диэлектрика в искровом канале. Для изучения динамики расширения искрового канала использовалось скоростное фотографирование. Чтобы сделать возможным перенесение результатов исследования на широкий класс материалов, использовались как хрупкие (щелочно-галлоидные кристаллы), так и пластичные прозрачные диэлектрические материалы (органическое стекло). Типичные фотограммы канала пробоя образца KCl представлены на рис. 5.

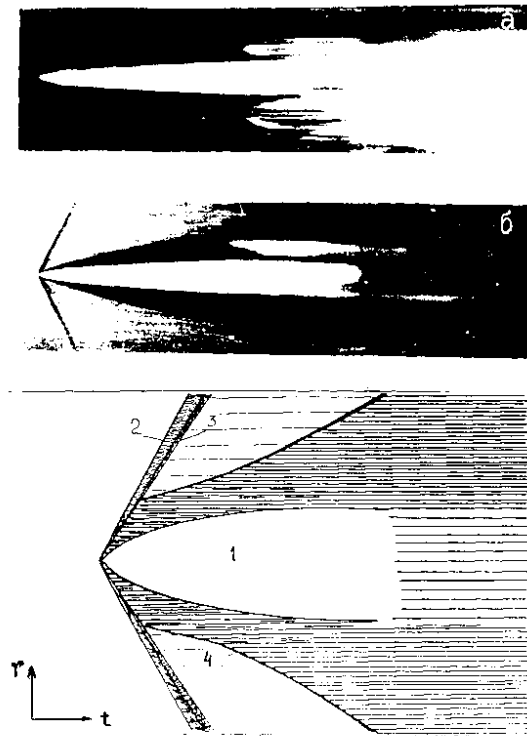


Рис. 5. Фоторазвертки канала пробоя образца KCl: а – режим самосвечения; б – с подсветкой; 1 – граница канала; 2 – упругий предвестник; 3 – фронт ударной (пластической) волны; 4 – трещины

Экспериментальные зависимости радиуса канала во времени с погрешностью не более 3–4 % для KCl, NaCl, KBr и 6–8 % для ПММА аппроксимируются параболой:

$$r_k(t) = -a + \left(\frac{t-d}{k} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

где a, d, k – константы.

Излучение и температура канала разряда

Спектроскопические методы исследования искрового канала дают наибольшую информацию о термодинамических процессах, протекающих в фазе его расширения. В исследованиях проведены измерения спектральной плотности излучения из зоны канала, яркостной температуры T искрового канала, коэффициентов и показателей поглощения, потерь энергии с излучением.

Расчеты температуры канала по модели абсолютно черного тела (АЧТ) на основе экспериментальных значений спектральной яркости в широком диапазоне вариации энерговклада для щелочно-галлоидных кристаллов (ЩГК) NaCl – KCl – KBr дают значения амплитуды яркостной температуры канала в пределах 12000–18000 К. Плотность вещества в канале пробоя ($n \approx P/kT$), соответствующая этим температурам и энерговкладу в канал (1–50) Дж/см за характерное время 10^{-6} с, оценивается как $n = (0,02–0,8) \cdot 10^{22}$ 1/см.

На основе измерения распределения спектральной плотности излучения и показателя поглощения по сечению (разбито на 5 участков) получено распределения температуры по сечению искрового канала (рис. 6).

Термодинамические функции, состав и уравнение состояния плазмы канала

Преобразование электрической энергии, запасенной в реактивных элементах разрядной цепи, в работу по разрушению (диспергированию) твердых диэлектриков происходит через промежуточное состояние – внутреннюю энергию E вещества в канале пробоя. Последняя занимает в этом переходном процессе центральное место и трансформируется частично по мере расширения канала пробоя в работу A над окружающим диэлектриком

$$A = \int_0^{V_1} p \, dV.$$

Показана применимость для вещества пробоя конденсированного диэлектрика известных уравнений калорической формы типа

$$E = \frac{pV}{\gamma - 1}.$$

На примере ЩГК разработаны приемы аналитического расчета термодинамических функций, состава и уравнений состояния плазмы канала, дающие удовлетворительное соответствие расчетно-экспериментальной оценке $\gamma(t)$ на основе измерений динамики геометрических размеров канала пробоя и энерговклада. Наиболее вероятным значением γ для минералов при их импульсном электрическом пробое в режиме технологического электровзрыва следует считать $\gamma = 1,12-1,16$ для соединений, не содержащих металлов I группы либо содержащих их в малом количестве, и $\gamma = 1,6-1,22$ – для минералов с высоким содержанием металлов I группы периодической таблицы (например, $N_{a_2}O$, $N_{a_2}O \cdot SiO_3$, K_2O и т. д.).

Динамическое нагружение среды искровым разрядом

Исследование характера возмущений в среде, вызванных электрическим разрядом, скоростей их распространения и параметров является важным этапом на пути к решению задачи о разрушающем действии разряда. Визуализация возмущения с помощью теневой съемки и метода фотоупругости при скоростной съемке процесса во многом позволяет дать ответ на поставленные выше вопросы.

На рис. 7, 8 представлены фотограммы скоростной фоторегистрации распространения возмущений от канала разряда при пробое органического стекла (ПММА) в режиме щелевой развертки и режиме лупы времени теневым способом и в поляризованном свете. При интенсивном энерговыведении на начальном этапе в первую осцилляцию разрядного тока в диэлектрике (в частности, в образцах ПММА), формируется и распространяется сверхзвуковая ударная волна уплотнения, которая, однако, быстро (на расстоянии 1–2 мм) вырождается в акустическую, расщепляясь на упругий предвестник и пластическую волну. При пробое ЩГК практически с момента замыкания межэлектродного промежутка каналом сквозной проводимости от канала отщуровывается двухволновое возмущение: упругий предвестник (первая линия) и фронт ударной пластической волны (вторая линия). Двухволновая структура возмущения соответствует упругопластическому поведению ЩГК, наблюдаемому в этих кристаллах в диапазоне до десятков килобар. Такая структура, содержащая упругий предвестник и ударную пластическую волну, характерна для поздних стадий взрыва ВВ в твердых телах, когда сверхзвуковая ударная волна, отделившись от стенки камеры, по мере развития теряет скорость и через некоторое время разделяется на упругую и пластическую.

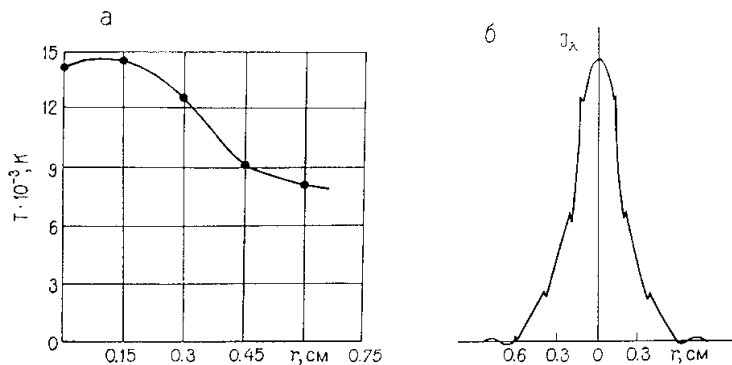


Рис. 6. Радиальное распределение температуры (а) и спектральной плотности потока (б) в канале пробоя

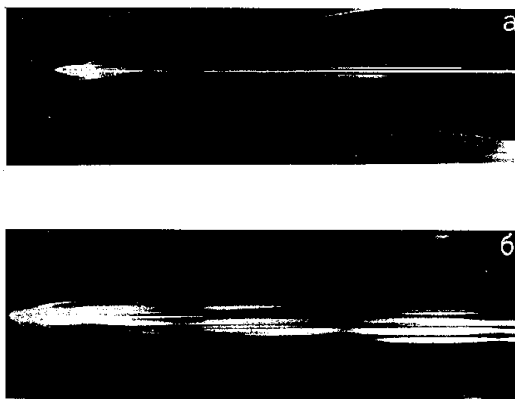


Рис. 7. Фоторазвертка канала пробоя ПММА съемкой теневым методом (а) и в поляризованном свете (б)

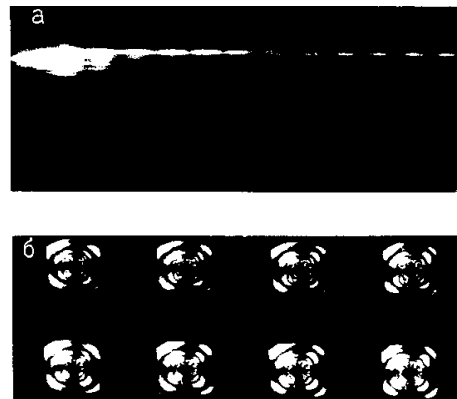


Рис. 8. Фоторазвертка (а) и фотохронограмма в режиме лупы времени (б) в поляризованном свете при пробое ПММА

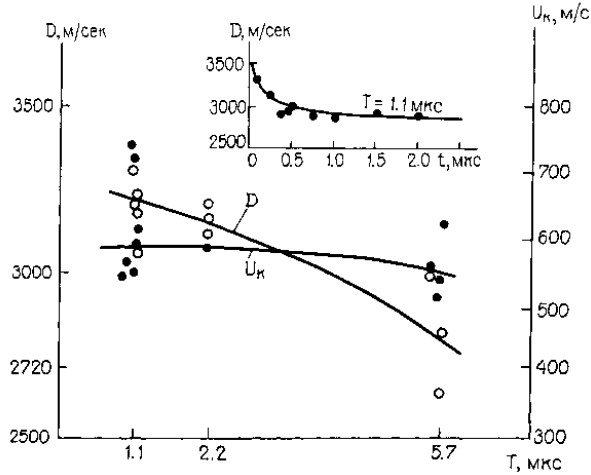


Рис. 9. Зависимость начальной скорости распространения ударной волны D и скорости расширения канала V_k от периода разрядного тока

На рис. 9. представлен график изменения скорости головной ударной волны в ПММА при энергии разряда 450 Дж и периоде разрядного тока 1,1 мкс. Максимальная скорость фронта ударной волны (ФУВ) в момент отщуровки от канала разряда оценивается величиной 3700–4000 м/с.

Давление на распространяющийся с такой скоростью ФУВ, оцененное по ударной адиабате ПММА или по универсальной кривой состояния твердого тела, составляет $(2,5–3,5) \cdot 10^9$ Па.

Аналитическое соотношение для давления на ФУВ в гидродинамическом приближении

$$p = \rho_0 D u \quad (7)$$

с учетом, что

$$D = c + Au, \quad (8)$$

преобразуется в

$$p = \rho_0 \frac{D(D-c)}{A}, \quad (9a)$$

$$p = \rho_0 (c + Au)u, \quad (9b)$$

где ρ_0 – начальная плотность вещества; D – скорость ударной волны; c – скорость звука; u – массовая скорость за фронтом ударной волны; A – постоянная материала (для ПММА $A = 1,3$). Приняв $c = 3800$ м/с, $\rho_0 = 1,2$ г/см³, $A = 1,3$, для $D = 3800$ м/с получим по (9) тот же порядок величин $p \approx 3,5 \cdot 10^9$ Па. Наконец, если считать, что скорость расширения канала можно рассматривать как массовую скорость за фронтом волны, то экспериментально фиксируемая в этом случае скорость увеличения радиуса 700 м/с приведет к такому же порядку величин давления на ФУВ.

Для оценки поля напряжений в твердом теле высокую информативность представляет метод динамической фотоупругости. На основании картины поля изохром оценивается разность двух главных напряжений

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_{\varphi\varphi} - \sigma_{rr} = \frac{\sigma_{10}}{2l} n, \quad (10)$$

где $\sigma_{\varphi\varphi}$, σ_{22} – нормальные напряжения в полярных координатах; σ_{10} – коэффициент оптической активности материала; l – толщина образца; n – порядок полосы. Для случая пробоя ПММА с энергией в разряде 500 Дж и периодом разрядного тока $T = 3,2$ мкс в окрестности трещин порядок полосы равен 4–5, что соответствует разности главных напряжений 400–500 кг/см², то есть растягивающие напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$, под действием которых и происходит рост радиальных трещин в «хвосте» волны, могут составлять 500–800 кг/см², что существенно выше прочности ПММА на сдвиг (300–500 кг/см²).

При аналитическом рассмотрении течения среды вокруг искрового канала с различными моделями течения и уравнениями состояния твердого тела (Осборна, Жаркова – Калинина, Тэта, Жданова – Конусова и др.) показана возможность расчета профилей волн в пространстве для ряда фиксированных значений времени и расчета напряжений в твердом теле (Б. В. Семкин [6]). Профили радиальных s_1 и тангенциальных s_2 напряжений приведены на рис. 10.

Выполнен анализ применимости для целей аналитического расчета электроимпульсного разрушения различных моделей поведения твердого тела и различных критериев разрушения.

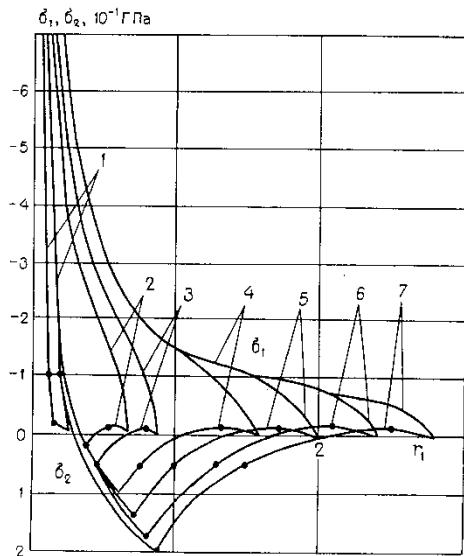


Рис. 10. Профили радиальных s_1 и тангенциальных s_2 напряжений при пробое «скальной породы» ($W_1 = 60$ Дж/см, $t = 3 \cdot 10^{-6}$ с): Время t , мкс: 1 – 0,4; 2 – 1,2; 3 – 2,0; 4 – 2,8; 5 – 3,6; 6 – 4,4; 7 – 5,2

Наиболее близкими к задаче электроимпульсного разрушения являются подходы, используемые при анализе разрушения с помощью ВВ. Базируясь на положениях теории хрупкого разрушения Гриффитса – Ирвина и решениях равновесия системы со звездой радиальных трещин от цилиндрической полости, нагружаемой изнутри в статическом и динамическом варианте при ВВ, прогнозируется гранулометрический состав разрушения (В. И. Курец [5]). Аналогично этому при электроимпульсном разрушении решается задача расчета длины трещин в зоне растрескивания. При этом используются результаты оценки радиуса канала разряда $r_k(t)$, а энергосклад разряда рассматривается с учетом разгрузки канала разряда через устья пробоя.

Кинетика и энергетические характеристики электроимпульсного разрушения диэлектриков и горных пород

Главными факторами, определяющими характер и динамику трещинообразования, являются структура материала (монокристаллическая, поликристаллическая, аморфная) и интенсивность нагружения.

Для динамики электроимпульсного разрушения характерны следующие закономерности:

1. Генеральная картина разрушения твердого диэлектрика под действием инициированного в его толще электровзрыва содержит в качестве основного элемента звезду радиальных трещин с убывающим по мере удаления от канала пробоя их числом; зона объемного разрушения слабо выражена; кольцевые трещины, наблюдаемые для взрыва химической природы, как правило, отсутствуют. Зона объемного разрушения и зарождение звезды трещин формируются под действием волновых возмущений; в заключительной стадии, в том числе в фазе финишной остановки (равновесия) радиальных трещин, определяющим механизмом передачи энергии в устье трещин является силовое воздействие канала пробоя (зоны пластических деформаций); энергия, необходимая для роста трещин, доставляется в устья волнами Рэлея.
2. Характерной особенностью разрушения хрупких материалов является практически постоянная скорость роста трещин вплоть до момента их остановки (рис. 11). Максимальная скорость роста трещин в силикатном стекле ~ 1500 м/с, что соответствует 0,38 от скорости продольных волн в стекле. В пластичном оргстекле трещины распространяются с дискретными скоростями, что отмечается разными авторами. При более высоком разрешении в динамике прорастания изломов отмечаются кратковременные остановки трещин и широкий набор дискретных скоростей. Объектам ЭИ-технологии более отвечает канифоль, обладающая по сравне-

нию со стеклом более выраженными пластическими свойствами с функцией $I(k_1/k_{1c})$.

3. В горных породах с большой концентрацией дислокаций имеет место переносное разрушение по Финкелю [9], когда трещинообразование определяется смыканием отдельных микротрещин и его скорость соответствует скорости распространения упругой волны. Для исследования процесса применим косвенный метод, когда с помощью герметизированных электродов канал разряда в образце формируется на фиксированном расстоянии от поверхности и оптической скоростной фоторегистацией определяется время прорыва на поверхность продуктов электровзрыва, а осциллографической регистрацией – динамика изменения электрического сопротивления канала разряда в предположении, что моменту выхода трещин на поверхность будет соответствовать его резкое падение за счет разгрузки. Полученные результаты на ряде горных пород подтверждают механизм переносного разрушения с фронтом акустической волны.
4. Эффект электроимпульсного разрушения материалов при одинаковых затратах энергии зависит от характера энергосвечения в канале разряда. Об эффективности разрушения можно судить по таким его параметрам, как максимальная длина трещин, суммарная длина и поверхность трещин, размер зоны трещинообразования и др. Наиболее общим случаем является зависимость указанных параметров от скорости выделения энергии при неизменной ее величине, представленная кривой с оптимумом (рис. 12). В зависимости от характера материала (хрупкие – пластичные) оптимум значительно сдвигается в область малых или больших значений мощности.

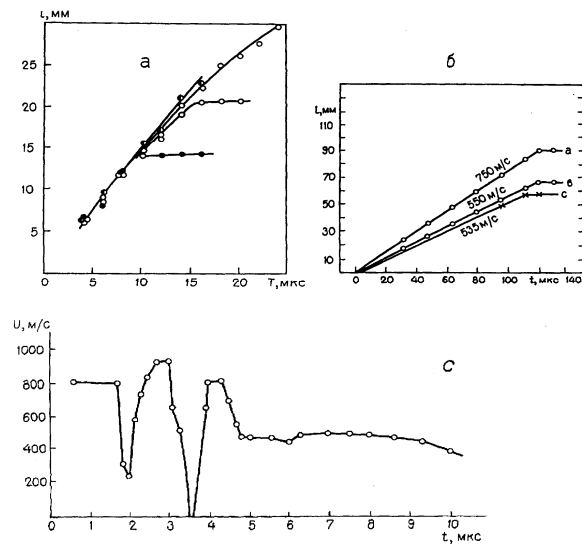


Рис. 11. Динамика роста трещин в силикатном стекле (а), канифоли (б) и органическом стекле (в)

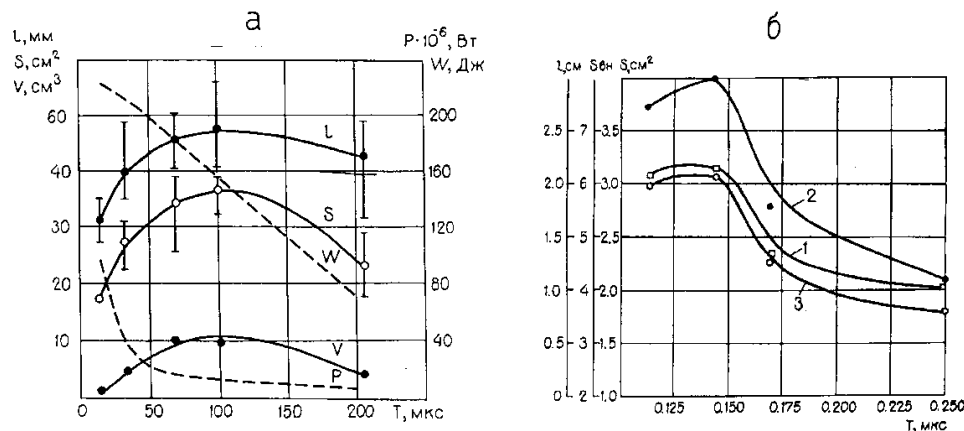


Рис 12. Влияние длительности выделения энергии на эффективность разрушения моделей из органического (а) и силикатного стекла (б)

Таблица 1
Энергоемкость бурения скважин
различными способами

Способ бурения	Удельная энергия разрушения, Дж/см ³ (кГм/см ³)
С использованием специальных породоразрушающих инструментов:	
Ударный	200–650 (20,4–66,3)
Вращательный:	
бурение шарошками	700–950 (71,4–96,8)
алмазное бурение	600–800 (61,2–81,5)
Ударно-вращательный	400–600 (40,8–61,2)
Вращательно-ударный	600–800 (61,2–81,5)
Без использования специальных породоразрушающих инструментов:	
Взрывной	200–400 (20,4–40,8)
Гидравлический*	1000–2000 (102–204)
Гидроимпульсный*	70–100 (7,1–10,2)
Электрогидравлический	400–500 (40,8–51)
Электротермический*	5000 (510)
Электроимпульсный	100–200 (10,2–20,4)
Лазерный	5000–12000 (510–224)
Комбинированное бурение	
Огневой	1500 (153)
Плазменный	5000 (510)
Термощарошечный	1200–1600 (122–163)
Электротермомеханический	500–800 (51–82)

*Способы, предназначенные для проходки выработок и скважин большого диаметра.

Энергоемкость электроимпульсного разрушения диэлектриков и горных пород

Физическая природа способа дает возможность достижения более низкой энергоемкости разрушения в сравнении с традиционными спо-

собами. Динамический характер ЭИ-нагружения обеспечивает хрупкое разрушение материала без потерь энергии на пластическую деформацию. Канал разряда в сравнении с ВВ имеет то преимущество, что его энергосодержание, обеспечиваемое подводом энергии извне от емкостного накопителя, может простыми способами регулироваться в широких пределах по величине и во времени, создавая оптимальные условия нагружения твердого тела в зависимости от его природы и размера разрушаемых фрагментов. По энергетической эффективности ЭИ-способ применительно к процессам, реализующим разрушение горных пород с одной свободной поверхности (бурение, резание, сьем поверхностного слоя), заметно предпочтительнее большинства других способов (табл. 1).

При дезинтеграции материалов возможности достижения свойственной электроимпульсному способу высокой энергетической эффективности несколько ограничены. В сопоставительных исследованиях энергоемкости измельчения руд различными способами (В. А. Цукерман [5]) энергоемкость электроимпульсного измельчения одного порядка и даже несколько выше, чем при измельчении в центробежных и стержневых мельницах, и все они на порядок ниже, чем при электрогидроимпульсном измельчении (табл. 2).

При электроимпульсной дезинтеграции с уменьшением крупности разрушаемых частиц до 1–2 мм имеет место смена электроимпульсного механизма воздействия на электрогидроимпульсный, что приводит к резкому, почти на порядок, повышению энергоемкости процесса. Однако и в этом случае проблема энергоемкости не является тупиковой для использования электрофизических эффектов в процессах переработки минерального сырья. В отдельных случаях проблема снимается использованием режимов электроразрядного разупрочнения (ЭРР) [7].

Таблица 2

Удельные затраты энергии при измельчении различными способами (руда Шерлово-горского месторождения; исходная крупность – 30 мм, конечная – 2 мм)

№	Способ измельчения	Установка	Производительность, кг/час	Удельный расход энергии, кВт · ч/т
1	Электроимпульсный	ЭИ-установка	100	13,1
2	Механический	Лабораторная центробежная мельница	150	11,7
3	Механический	Лабораторная стержневая мельница	85	12,6
4	Электро-гидравлический	Установка ВостНИГРИ	100	117,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А. А. Электрические разряды обрабатывают материалы, разрушают твердые тела // Известия Томского политехн. ин-та. 1958. Т. 95. С. 315–339.
2. Воробьев А. А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. Томск: Изд-во ТГУ, 1961. 150 с.
3. Воробьев А. А., Воробьев Г. А., Завадовская Е. К. и др. Импульсный пробой и разрушение диэлектриков и горных пород. Томск: Изд-во ТГУ, 1971. 225 с.
4. Казуб В. Т., Коршунов Г. С. Электрический разряд на границе раздела жидкого и твердого диэлектриков // Физика диэлектриков и новые области их применения: Тез. докл. Всесоюз. конф. Караганда, 8–10 июня 1978 г. Караганда: Изд-во Караганд. политехн. ин-та, 1978. С. 26–27.
5. Курец В. И., Усов А. Ф., Цукерман В. А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 324 с.
6. Усов А. Ф., Ракаев А. И. Электроимпульсное дробление и разупрочнение руд и материалов // Обогащение руд. 1989. № 4. С. 42–43.
7. Усов А. Ф., Семкин Б. В., Зиновьев Н. Т. Переходные (электрические) процессы в установках электроимпульсной технологии. Л.: Наука, 1987. 179 с.
8. Семкин Б. В., Усов А. Ф., Курец В. И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. Апатиты: КНЦ РАН, 1995. 276 с.
9. Финкель В. М. Физика разрушения. М.: Металлургия, 1970. 376 с.

УДК 630.165

РЕГИНАЛЬД АЛЕКСАНДРОВИЧ ЦИЛЬКЕ

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой селекции и генетики агрономического факультета, Новосибирский государственный аграрный университет
reginald.zielke@mail.ru

Рец. на кн.: Царёв, А. П. Генетика лесных древесных растений: учебник / А. П. Царёв, С. П. Погиба, Н. В. Лаур. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 381 с.

Учебники по генетике лесных растений довольно редко встречаются в нашей стране, в основном пишутся учебные пособия по хлебным культурам. Из моей памяти не стираются впечатления от учебника Синнота и Дэна «Курс генетики», изданного на русском языке в 1934 году. Это были годы полного разрушения генетики как науки. Намного позже появились книги шведского профессора А. Мюнтцинга. Искреннее восхищение вызывает учебник «Общая и молекулярная генетика», написанный И. Ф. Жимулёвым и изданный уже три раза (2002, 2003, 2007).

Рецензируемый учебник, несомненно, отличается от других. Прежде всего он оригинален по содержанию и форме. Похвально, что авторы сочли необходимым в краткой форме изложить этапы развития генетики, а также познакомить читателя не только с известными зарубежными специалистами в области генетики и селекции лесных древесных растений, но и с отечественными исследователями (глава 1). К сожалению, они не посчитали нужным сказать несколько слов об огромном ущербе, нанесенном биологии в целом и генетике в частности в годы лысенковщины. В отношении значения генетических закономерностей для селекции я не всегда могу согласиться с авторами учебника. Ссылаясь на Мичурина, Ремесло (я общался с ним непосредственно на своем опытном поле) и Пустовойта в том, что они не знали и не владели идеями генетики, но создали выдающиеся сорта, замечу, что эти ученые прекрасно разбирались в биологии растений, и не думаю, что они не знали сути менделизма, просто в силу сложившихся обстоятельств они не демонстрировали свои знания.

В главе 2 рассматриваются закономерности наследования при аллельном взаимодействии генов. Неудачны термины «видимый» и «невидимый» признаки. В главе весьма обстоятельно рассматривается менделевский анализ, но думаю, что студентам непросто при таком изложении материала освоить его суть.

В главе 3 рассматриваются закономерности наследования при неаллельном взаимодействии генов. По-моему, ген не влияет на признак, а детерминирует его. Но это мое мнение. Пример обстоятельного анализа плейотропного действия или взаимодействия гена на молекулярном уровне мне неизвестен.

В главе 4 «Деление клетки и эмбриологическое развитие у древесных растений» обстоятельно рассматриваются органеллы клетки и фазы протекания мейоза и митоза, но недостаточно наглядно объясняется их биологический смысл. В то же время наглядно рассматриваются особенности эмбриологического развития древесных растений.

В главе 5 «Хромосомная теория наследственности» авторы после краткого исторического экскурса весьма обстоятельно излагают принципы хромосомной теории.

В главе 6 «Биохимические основы наследственности» подробно рассматриваются молекулярные основы генетического материала. Не мешало бы сказать здесь несколько слов об открытии нуклеиновых кислот и упомянуть Мишера. И конечно же, обязательно сказать об опытах Гриффитса, а также, рассматривая генетический код, назвать Джорджа (Георгия) Гамова, великого американца русского происхождения. Можно было бы уделить внимание новейшим данным о трехцепочной пептид-нуклеиновой кислоте. В целом же эта глава производит очень хорошее впечатление.

В главе 7 «Геном, его секвенирование и значение» рассматриваются принципиальные положения о геноме. К сожалению, высказанные прогнозы до 2040 года не удастся проверить.

В главе 8 «Мутагенез и полиплоидия» изложены классические представления о преобразовании материальных носителей наследственной информации. Представлены наглядные иллюстрации. Пожелание одно: название родов древесных растений в таблице 8.1 дать не только на латыни, но и на русском языке.

В главе 9 «Генетическая инженерия» представлены результаты новейших исследований по реконструкции наследственного аппарата. Пасаж авторов о том, что генетическая инженерия может привести к крайне отрицательным последствиям, не имеет смысла: человека невозможно остановить.

В короткой главе 10 «Нехромосомная наследственность» достаточно полно изложена тема.

Название главы 11 «Некоторые общие принципы количественной генетики: понятия и термины» считаю неудачным. Впервые встречаю в отечественном учебнике столь основательное

и доступное в то же время изложение принципов биометрической генетики. Сегодня практически недоступна книга Фалконера, но авторы разобрались в непростой по изложению материала его книге и достаточно четко передали принципы количественной генетики в учебнике. В рассматриваемой главе, в отличие от предыдущих, представлены весьма серьезные задачи для решения обучающимися.

В главе 12 «Сходство между родственниками» изложены весьма непростые положения биометрической генетики, и надо отметить, что авторам удалось упростить суть этих положений. К сожалению, в вопроснике нет ни одной цифровой задачи, хотя бы из научной литературы.

В главе 13 «Инбридинг» доступно изложены и наглядно иллюстрированы генетические основы инбридинговой депрессии.

В главе 14 «Использование некоторых положений количественной генетики в селекции лесных древесных пород» обстоятельно изложены принципы генетики, связанные с оценкой наследуемости, но не мешало бы сравнивать их с принципами наследования. Это очень важно для начинающих исследователей в этой области. Не приемлю понятие «генетический выигрыш», от которого отдает карточной или иной азартной игрой. Предлагаю использовать понятие «генетический эффект».

В главе 15 «Генетика популяций» изложены в доступной форме основы популяционной генетики, но неудачно выражение: «Законы Менделя были выведены...» — законы открываются, а не выводятся. Замечательно, что обстоятельно изложен генетический анализ лесных популяций. Впервые в отечественном учебнике вижу попытку членораздельно объяснить принципы фенотипики.

В главе 16 «Факторы эволюции и их влияние на генетическую структуру популяций» рассмотрено влияние мутаций, отбора, факторов внешней среды, миграции на генетическую структуру популяций. Сомнение вызывает следующее положение: «Ч. Дарвин первым обнаружил явление биологической полезности скрещивания».

В главе 17 «Биологическое разнообразие и закономерности изменчивости лесных древесных растений» весьма подробно излагаются принципы биологического разнообразия в приложении к древесным растениям.

Глава 18 «Генофонд лесных древесных растений и его сохранение» написана глубоко и со знанием предмета.

В главе 19 «Экологическая генетика растений» в дополнении к классическим понятиям об экологических факторах изложены новейшие достижения современной экологии в тесной связи с достижениями современной генетики. Следовало бы более подробно объяснить природу статистического показателя взаимодействия «генотип $\times$ среда». Поскольку без многофакторного дисперсионного анализа с применением специальных компьютерных программ нельзя получить надежную информацию об этом показателе, есть возможность более простым методом оценить взаимодействие «генотип $\times$ среда», используя коэффициент корреляции по Спирмэну (r_s).

В заключительной главе 20 «Эпигенетика» авторам пришлось столкнуться с современными постулатами, много обещающими, но мало доказывающими и добавляющими что-то к современным представлениям о гене.

Тем не менее рецензируемый учебник — это талантливый труд, который с благодарностью признан профессионалами.



13 февраля 2011 года исполнилось 80 лет доктору медицинских наук, профессору, академику Российской Академии медико-технических наук РФ и Академии проблем безопасности, обороны и правопорядка РФ, заведующему кафедрой критической и респираторной медицины медицинского факультета Петрозаводского государственного университета *Анатолию Петровичу Зильберу*.

АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ ЗИЛЬБЕР К 80-летию со дня рождения

Анатолий Петрович Зильбер родился в г. Запорожье (Украина). Работает в Карелии с 1954 года после окончания с отличием I Ленинградского медицинского института. С 1957 года – анестезиолог Республиканской больницы, организатор службы интенсивной терапии, анестезии и реанимации (ИТАР) республики. В 1959 году организовал одно из первых в СССР отделение ИТАР. С 1962 года работает в Петрозаводском государственном университете в качестве доцента кафедры общей хирургии и анестезиологии. В 1966 году создал первый в медицинском вузе самостоятельный курс анестезиологии-реаниматологии (с 1989 года – кафедре, с 2009-го – кафедра критической и респираторной медицины) Петрозаводского государственного университета, разработал учебную программу для студентов медицинских вузов по специальности «анестезиология-реаниматология». Организатор первого в России этического комитета (1987). Автор концепции *медицины критических состояний* (1989).

Основные направления научной работы А. П. Зильбера – создание клинико-физиологического направления в медицине критических состояний, клиническая физиология и интенсивная терапия полиорганной недостаточности как третьего, не предусмотренного природой, искусственного состояния человека, клиническая физиология дыхания, разработка концепции гуманитарных основ образования и практики врачей, этических и юридических основ МКС, изучение деятельности врачей, прославившихся вне медицины (так называемый *медицинский труэнтизм*). Он автор более 430 печатных работ по названным проблемам (в том числе 34 монографий, из которых 3 переведены на иностранные языки и изданы в разных странах). Книга «Реанимация и интенсивная терапия» (2007), написанная в соавторстве с профессором Г. Г. Ждановым, – это первый отечественный учебник по данной тематике, утвержденный УМО по медицинскому и фармацевтическому образованию как учебник для медицинских вузов России. Под руководством А. П. Зильбера сотрудники кафедры выполнили перевод четырех крупных руководств по специальности: Дж. Дюк «Секреты анестезии» (М.: Медпресс-информ, 2005); «Руководство по клинической анестезиологии» / Под ред. Б. Дж. Полларда (М.: Медпресс-информ, 2006); Дж. П. Рафмелл, Д. М. Нил, Кр. М. Вискоуми «Регионарная анестезия» (М.: Медпресс-информ, 2007); П. Марино «Интенсивная терапия» (М.: ГЭОТАР-медиа, 2010).

В 1989 году по инициативе и под руководством А. П. Зильбера создается отделение интенсивной респираторной терапии Республиканской больницы, в 2001 году преобразованное в Республиканский респираторный центр – первое

в России подразделение здравоохранения такого типа. На базе этого Центра и курса респираторной медицины ПетрГУ в 2006 году открыт Петрозаводский филиал Института пульмонологии РАМН – Федерального центра респираторной медицины и пульмонологии России. Научная и организационная продукция Респираторного центра Карелии только в последние годы 6 раз представлялась на зарубежных конгрессах и в России, где выдвигаемые идеи получили высокое признание.

Неизменным авторитетом у врачей России и стран ближнего зарубежья пользуются ежегодные учебно-методические семинары службы медицины критических состояний Карелии, проходящие с 1964 года по инициативе и под непосредственным руководством А. П. Зильбера. В последние годы эти семинары приобрели статус всероссийских с международным участием.

А. П. Зильбер неоднократно читал лекции в разных городах России, СНГ, а также в Австрии, Швеции, Финляндии, Израиле, Венгрии, США, Канаде и других странах ближнего и дальнего зарубежья, в последние годы используя для этого телемедицинскую технологию (Skype, V-Point). Лекции А. П. Зильбера для студентов и врачей – прекрасно организованные и интересные по форме – содержат новейшие данные по специальности и с удовольствием посещаются студентами старших курсов и врачами разных специальностей. А. П. Зильбер – один из профессоров университета, которые целенаправленно занимаются гуманитарным воспитанием врачей и студентов.

А. П. Зильбер ведет активную общественную работу. Он член Правления Федерации анестезиологов и реаниматологов России, член Прав-

ления Ассоциации анестезиологов и реаниматологов Северо-Запада России, председатель Правления Республиканской ассоциации анестезиологов и реаниматологов Карелии, независимый эксперт конкурсной комиссии Министерства здравоохранения и социального развития РК, член лечебно-контрольной и центральной аттестационной комиссий МЗ РК, сопредседатель Республиканского Этического комитета, член редакционных советов журналов «Трансфузиология», «Скорая помощь», «Вестник интенсивной терапии», «Вестник анестезиологии и реаниматологии».

За вклад в развитие медицинской науки и практики России, повышение авторитета российской медицины в мире А. П. Зильбер награжден орденами Дружбы и Почета, медалями «За выдающиеся достижения в реаниматологии», «За укрепление авторитета Российской науки», «Золотой медалью А. Л. Чижевского за профессионализм и деловую репутацию». А. П. Зильбер является заслуженным деятелем науки РФ, почетным работником высшего профессионального образования РФ, народным врачом РК, заслуженным врачом РФ, визитирующим профессором Гарвардского и Южно-Калифорнийского университетов (США), почетным профессором Хорезмского университета (Узбекистан), почетным членом Правления Федерации анестезиологов и реаниматологов РФ, почетным гражданином г. Петрозаводска.

Поздравляем Анатолия Петровича со славным юбилеем и желаем новых идей в благородном деле спасения человеческой жизни, талантливых учеников и успехов во всех начинаниях!



28 февраля 2011 года исполнилось 60 лет доктору физико-математических наук, профессору, директору Центра бюджетного мониторинга, заведующему кафедрой физики твердого тела физико-технического факультета Петрозаводского государственного университета *Валерию Алексеевичу Гуртову*.

ВАЛЕРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ГУРТОВ К 60-летию со дня рождения

Валерий Алексеевич родился в селе Александровское Вытегорского района Вологодской области. В 1967 году окончил с серебряной медалью Вытегорскую среднюю школу и в том же году поступил на физико-математический факультет Петрозаводского университета, который окончил с отличием в 1972 году. Во время учебы был Ленинским стипендиатом, секретарем факультетской комсомольской организации, командиром ССО, занимался самбо, был капитаном университетской сборной команды, стал победителем и призером первенств Петрозаводского университета и РК. После окончания учебы работал секретарем комитета ВЛКСМ университета и ассистентом кафедры общей физики.

В 1975 году В. А. Гуртов был направлен на стажировку в Институт физики полупроводников Сибирского отделения АН СССР (г. Новосибирск), в 1979 году там же защитил кандидатскую диссертацию. В 1980 году он вернулся на работу на кафедру физики твердого тела ПетрГУ. В 1991 году защитил докторскую диссертацию в диссертационном совете при Институте физики полупроводников Сибирского отделения АН СССР. За годы работы в ПетрГУ В. А. Гуртов прошел все профессиональные ступени педагогической и административной лестницы: ассистент (1973), старший преподаватель (1980), доцент (1985), декан физического факультета (1987–1991), проректор по научной работе (1991–2001 гг.), профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела (с 2001 года) и директор Центра бюджетного мониторинга ПетрГУ (с 2003 г.). Являясь директором Центра бюджетного мониторинга, В. А. Гуртов ведет научные исследования по мониторингу, анализу и прогнозированию динамики рынка труда и рынка образовательных услуг, подготовке кадров высшей научной квалификации, финансированию науки и образования на федеральном и региональном уровнях.

В. А. Гуртов автор и соавтор более 400 научных статей, книг, учебных и методических пособий. Под его научным руководством защищены 8 кандидатских и 1 докторская диссертация.

В. А. Гуртову присвоены звания заслуженного работника высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, заслуженного деятеля науки Республики Карелия.

Поздравляем Валерия Алексеевича с юбилеем и желаем ему здоровья, успешной педагогической деятельности и новых научных исследований!

CONTENTS

BIOLOGY

Greph E. Ja., Korovushkin A. A., Nephedova S. A.

ENVIRONMENTAL MONITORING OF HEMORRHAGIC FEVER IN RENAL DISEASE SYNDROME IN DIFFERENT SPECIES OF RODENTS – VECTORS OF INFECTIONS IN VARIOUS GEOGRAPHIC ZONES

Summary: Small rodents – transmitters of HFRS can be used as reactionary systems – indicators in boreal forests and steppe geographical zones. Moreover, in areas where territories are contaminated with toxicants, the common field-vole, kutora, and the harvest mouse will develop HFRS 7,5 %, 9,4 % and 8,0 % more frequently than in ecologically safe environment of the taiga zone. This clearly points to a direct correlation between resistance to HFRS disease of this wildlife and conditions of the ecological environment. In forest-steppe zone, a bioindikator is a forest mouse. Its susceptibility to HFRS in conditions of ecotoxication increases by 7,3 %.

Key words: Landscape and geographical areas, environmental toxicants, hemorrhagic fever, renal syndrome, species' classification, rodent-vector of HFRS7

Gorbach V. V.

BUTTERFLY FAUNA (LEPIDOPTERA: HESPERIOIDEA, PAPILIONOIDEA) OF KARELIA. KARELIA LADOGENSIS: VALAAM ISLAND

Summary: The article presents results of the faunistic study carried out on Valaam Island. 28 butterfly species were found on the island during the period of June 26 till August 2, 2009. Five rare species from the total number of the revealed species are red-listed in Karelia.

Key words: Butterflies, Karelia ladogensis, Valaam Island, species composition, Red List's species11

Dyachkova T. J.

ÉPIPACTIS PALUSTRIS (L.) CRANTZ ON SWAMPS OF KARELIA

Summary: The article provides research results of the rarely encountered in Karelia species of *Orchidaceae* – *Epipactis palustris* (L.) Crantz – swamp helleborine. This type of species is found in the northern limits of its area and is widespread only in the southern floristic areas of Karelia. The distribution, the occurrence, and community types with the species' participation are examined. Morphology of the plants of different age groups is studied.

Key words: Rare species, ecological groups, age structure of the population14

Fedorenko O. M., Gritskikh M. V., Lebedeva O. N., Titov A. F.

GENETIC DIVERSITY LEVEL OF *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) HEYNH. IN NATURAL POPULATION IN NORTHERN LIMITS OF SPECIES' RANGE

Summary: The present research is focused on the genetic diversity level of marginal populations. The level of genetic variability in natural populations of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., occupying northern limits of the species' range, was evaluated (RAPD). The findings amplify existing ideas about marginal populations' genetic polymorphism.

Key words: *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., genetic diversity, RAPD-markers, northern limits of the species range, marginal populations17

Shashurina E. A., Doronkin Yu. V., Lupova E. I.

ECOLOGICAL MONITORING OF TERRITORIES AND MIGRATION OF CAESIUM-137 IN CHAIN: SOIL – BEEKEEPING PRODUCTS

Summary: Bees, melliferous plants, honey and other products of beekeeping as accumulative memory objects can be used for ecological monitoring of territories polluted with radio nuclides and heavy metals. They will serve as reactionary systems and migration indicators in ecotoxicology. Radionuclides and heavy metals accumulate in the fabrics of the insects in great amounts. To a lesser degree, they can be found in ambrosia and honey. The types of soils, the depth of pollutant occurrence, the breed features of bees, the arrangements of beekeeping products in a beehives, and features of the melliferous plants (annual, biannual, long-term, length of root system, flowering time) should be considered in api-monitoring

Key words: Apimonitoring, melliferous plants, radionuclides, type of soils21

GEOSCIENCES

Shelekhova T. S., Lavrova N. B.

NEW DATA ON MIGRATION OF WHITE SEA COAST LINE

Summary: The results of the integrated study of the Late Holocene deposits located in the lower Vyg River area are presented. The paleogeographic conditions of sedimentation were reconstructed. Variations in the White Sea level, assessed by paleontological methods combined with radiocarbon dating, were shown to depend on paleogeographic settings. Additional evidence for surrounding vegetation dynamics against the paleohydrological regime of the area was obtained.

The time of the regression stage of the sea basin and the subboreal terrace retreat from the flood zone was estimated.

Key words: Diatom analysis, palynological analysis, pollen-spore complex, White Sea24

MEDICAL SCIENCE

Gerasimova L. I., Berlogina S. Yu.

MECHANISMS OF COLD-INDUCED VASOCONSTRICTION IN POST-STROKE PERIOD

Summary: The increased cold-induced vasoconstriction was documented in stroke patients. This condition was followed by both hormone-metabolic and cellular mechanisms with deficient neurogenic control of the vascular tone.

Key words: Stroke, cold-induced vasoconstriction, local cold test, heart rate variability, skin sympathetic response33

Grigorovich I. N., Nikitin S. S., Elagina S. A., Kushnareva N. A., Kononova S. A.

DIAGNOSTICS OF HEART RHYTHM VARIABILITY IN CHILDREN WITH COMBINATIVE PELVIC DISORDERS

Summary: Variability of the heart rhythm (VHR) in 120 children of 5–15 years old (68 boys and 52 girls) with combinative pelvic disorders (CPD) is examined. A background record with research results of the time series and spectral analysis, orthostatic and respiratory tests is made. A control group was presented by 120 healthy children of 5–15 years old (64 boys and 56 girls). They were subjects of the same heart rhythm diagnostic tests. Sympathetic nervous system hyperactivity by all analyzed parameters was revealed in children with CPD.

Key words: Children, hyperactive bladder, constipation, combinative pelvic disorders, variability of a heart rhythm, vegetative nervous system, sympathetic nervous system38

Marusenko I. M., Avdeeva Ya. A.

SECONDARY AMYLOIDOSIS IN PATIENTS WITH RHEMATOID ARTHRITIS

Summary: The article deals with the problem of secondary amyloidosis in patients with rheumatoid arthritis. The most frequent manifestations in this type of amyloidosis are renal irritations followed by chronic renal insufficiency. Verification of the diagnosis demands obtainment of biopsy materials and coloring with *Congo red* followed by the study in polarized light.

Key words: Amyloidosis, biopsy, rheumatoid arthritis42

Sheglov E. A., Vesikova N. N., Dudanov I. P., Alontseva N. N.

LIFE QUALITY STUDY IN PATIENTS WITH CHRONIC VENOUS INSUFFICIENCY AND KNEE OSTEOARTHRITIS

Summary: The article is devoted to the problem of the quality of life evaluation in patients with chronic venous insufficiency and knee osteoarthritis by means of CIVIQ 2 test. Delivery of the complex treatment leads to significant improvement of life quality.

Key words: Quality of life, chronic venous deficiency, varicose disease, osteoarthritis of knee joints, CIVIQ 2 test45

AGRICULTURAL SCIENCE

Morosova I. V., Gavrilova O. I.

REFORESTATION PROBLEMS OF PINE FORESTS FIVE YEARS AFTER SEEDS' BEDDING AND SEEDLINGS' PLANTING IN LOGGED AREAS OF SOUTHERN KARELIA

Summary: The article discusses reforestation problems of the pine forests in the logged areas of southern Karelia. Advantages of plants grown from seedlings on relatively abundant sites are substantiated.

Key words: Reforestation, forest cultures, logged areas49

Kondratyuk E. A.

STRUCTURE OF AGRICULTURAL MARKET IN KARELIA

Summary: The article presents research results on the sources of food resources formation in Karelian Republic. The research results are obtained based on the study of the agricultural production in the Republic. Readings of the production; import; consumption; price changes; economic efficiency of potatoes, vegetables, meat, milk and eggs' production; a structure of the produced agricultural products are presented.

Key words: Production resources, structure of the balance, import, price index, efficiency52

Nefedova S. A.

DYNAMICS OF MYOCARDIUM AND LACTEAL GLAND DEVELOPMENT UNDER Ca^{2+} -ANTAGONIST EXPOSURE AND COMPENSATORY ADAPTIVENESS IN CALVES TO HYPERTHYROIDISM

Summary: Proper activity of the enzymes needed for normal development of cardiomyocytes in calves can be achieved by the admission of Ca^{2+} regulating agent and not by common hormone therapies regardless of the thyroid hormone levels. Proper Ca^{2+} admission leads to improved potential milk yield in calves as a result of compensatory adaptation to hypothyroidism.

Key words: hypothyroidism, Ca^{2+} -antagonist, myocardium55

Sirotinina V. Y.

INFLUENCE OF PHYSIOLOGICAL FACTORS ON PREGNANCY DURATION IN AYRSHIRE COWS

Summary: Prenatal development of the cow's fetus is influenced by many external and internal factors. One of such factors is the duration of the pregnancy. Duration of the cow's pregnancy can also be a subject to change depending on the breed, age and other causes.

Key words: Cow, calf, fetus, duration of pregnancy59

ENGINEERING SCIENCE

Karpenko S. N., Petrov A. N., Voronin Z. A., Mirochin M. L.

INCREMENTAL APPROACH TO NONLINEAR DESIGN OF REINFORCED DEEP BEAMS WITH CRACKS

Summary: An incremental approach to the analysis of stress – strain state of reinforced deep beams with cracks is considered. The design method is based on the nonlinear model of reinforced concrete with cracks by N. I. Karpenko. Some results of the numerical design of the experimental deep beams tested by M. P. Nilsen are submitted.

Key words: Nonlinear model of reinforced concrete, deep beams with cracks, finite element method62

Goldshtein Yu. B.

LINEARIZED STABILITY PROBLEM FOR BEAM STRUCTURE WITH UNILATERAL CONSTRAINTS

Summary: A linearized stability problem for the elastic beam structure (frame) with unilateral constraints is considered. The signs that appear in the process of the solution of this problem and indicate the possibility of the frame stability loss are discussed.

Key words: Stability, unilateral constraints, system of comparison, lower critical force, upper critical force66

Rochev A. A.

SPACIAL COMPUTATION OF ELASTOPLASTIC COMPOSITE RODS

Summary: We solved the problem of spatial deformation calculation of inelastic composite rods with variable cross-sections and variable rigidity along the length of the shear ties. The theory of composite rods by A.R. Rzhantsina provides the basis for the decision. The author's expressions were used to determine the deformation modulus, taking into account the compressibility of the axes of the branches, and the shear deformation of the material branches, causing the development of inelastic linear deformation in them. The variable stiffness of the inelastic composite rods in torsion is considered.

Key words: Spatial deformation calculation, thin-walled section, equivalent modules of deformation, stiffness on torsion72

Bystrov M. Yu.

STRUCTURAL APPROACH APPLICATION FOR RECOGNITION OF BINARY IMAGE SKELETON

Summary: The article describes an algorithm and its implementation for the search of binary images in electronic collections with the help of skeletons. The offered algorithm for searching is based on the structural approach and includes the following stages: skeletonization of the figure, regularization of the skeleton, straight line approximation of the skeleton, construction of the skeleton structural description (achain of primitives) and comparison of the chains of different patterns with each other. The method of chain construction allows comparison of skeletons both in parts and as a whole.

Key words: Binary images, electronic collections, skeletons, recognition, structural methods76

PHYSICS AND MATHEMATICS

Shelestov A. S., Gostev V. A.

MICROPLASMATRON DEVELOPMENT AS FUEL PREPARATION DEVICE FOR CE (COMBUSTION ENGINES)

Summary: The article describes the development of the device aimed to produce a non-self-maintained discharge initiated by the liquid microplasmatron. Measurements of its basic characteristics are carried out.

Key words: Plasma, plasmatron, gas discharge, fuel preparation81

Petrinin V. A., Nevskiy S. A., Kononov S. V., Gromov V. E.

INFLUENCE OF WEAK ELECTRICAL POTENTIAL ON MECHANICAL STRESS RELAXATION IN ALUMINUM

Summary: The acceleration action of the weak electrical potential on the mechanical stress relaxation of technically pure aluminium A 85 is researched. It is established that activation volume at potential of -1,5 to 1,5 V decreases without dependence from its sign. A hypothesis of the correlations for installed changes, changes of the surface energy, and dislocation structure is suggested.

Key words: Aluminum, stress relaxation, electrical potential, activation volume85

All-Russian seminar for young Russian scientists "Problems of Electrodischarge Processing Application in the Industry of Nonesystems and Nanomaterials"

Denisov S. A., Dzidziguri A. L., Spitzin B. V., Sokolina G. A., Boldirev N. Yu.

PURIFICATION AND MODIFICATION OF PRODUCT DERIVED BY DETONATION SYNTHESIS OF NANODIAMOND

Summary: Developed in our laboratory, gaseous methods of DND modification and purification are instrumental in obtaining nanodiamonds with different chemical terminated surfaces and, as a result, with adsorptive and electrophysical properties. Modification of the nanodiamond's surface makes it possible to use it as an adsorbent in chromatography and as a filler in nanocomposites. The product can also be used in medicine and biology.

Key words: DND, detonation nanodiamond, modification, purification, electroconductivity89

Usov A. F.

ELECTRIC PULSE METHOD OF MATERIALS' DESTRUCTION: SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES AND EXPERIENCE

Summary: The physical basis of the electric pulse method of materials' destruction is presented. The formation of the breakdown channel in solids with the use of the pulsed voltage in the microsecond range impact and patterns of its destruction effect caused by the electric discharge channel in the allocation process of its energy storage capacitor are described

Key words: Electric pulse destruction of materials, electrical breakdown, discharge channel99

REVIEWS

Zilke R. A.

The book review: *Tzarev A. P. Genetics of forest wood plants* 110

JUBILATION

To the 80th Birthday Anniversary of A. P. Zilber112

To the 60th Birthday Anniversary of V. A. Gurtov 114